tijdschrift van het

nederlands elektronica- en radiogenootschap

deel 46 - nr. 4 - 1981

nederlands elektronica- en radiogenootschap

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Postbus 39,2260 AA Leidschendam. Gironummer 94746
t.n.v. Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

Het Genootschap stelt zich ten doel in Nederland en de Overzeese Rijksdelen de wetenschappelijke ontwikkeling en de toepassing van de elektronica en de radio in de ruimste zin te bevorderen.

Bestuur

Lidmaatschap

Voor lidmaatschap wende men zich tot de secretaris. Het lidmaatschap staat -behoudens ballotage- open voor academisch gegradueerden en hen, wier kennis of ervaring naar het oordeel van het bestuur een vruchtbaar lidmaatschap mogelijk maakt. De contributie bedraagt fl. 60,--.

Studenten aan universiteiten en hogescholen komen bij gevorderde studie in aanmerking voor een junior-lidmaatschap, waarbij 50% reductie wordt verleend op de contributie. Op aanvraag kan deze reductie ook aan anderen worden verleend.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt zesmaal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en van de telecommunicatie.

Auteurs die publicatie van hun wetenschappelijk werk in het tijdschrift wensen, wordt verzocht in een vroeg stadium kontakt op te nemen met de voorzitter van de redactie commissie.

De teksten moeten, getypt op door de redactie verstrekte tekstbladen, geheel persklaar voor de offsetdruk worden ingezonden.

De abonnementsprijs van het tijdschrift bedraagt f 60,--. Aan leden wordt het tijdschrift kosteloos toegestuurd.

Tarieven en verdere inlichtingen over advertenties worden op aanvrage verstrekt door de voorzitter van de redactiecommissie.

Redactiecommissie

DE EXAMENS

De door het Genootschap ingestelde examens worden afgenomen in samenwerking met de "Vereniging tot bevordering van Elektrotechnisch Vakonderwijs in Nederland (V.E.V.)". Het betreft de examens:

a. op lager technisch niveau: "Elektronica monteur N.E.R.G.";
b. op middelbaar technisch niveau: "Middelbaar Elektronica technicus N.E.R.G.".

Voor deelname, inlichtingen omtrent exameneisen, reglement, en uitgewerkte opgaven wende men zich tot het Centraal Bureau van de V.E.V., Barneveldseweg 39, 3862 PB Nijkerk; tel. 03494 - 4844.

Onderwijscommissie

INLEIDING TOT DE PATROONHERKENNING

Dr.Ir. E. Backer
Technische Hogeschool Delft
Afdeling der Elektrotechniek
Vakgroep Informatietheorie

Introduction to Pattern Recognition

This lecture deals with several problems of implementing a pattern recognition system from the viewpoint of its particular application. After having identified pattern recognition as a prime example of a multidisciplinary attempt to automate certain human capabilities, we list a large variety of more or less feasible applications. Then, the structure of the system, the sensors, the learning process, the classification process, system evaluation and hardware and software considerations are outlined from the viewpoint of various practical constraints due to any real application. Finally, some general approaches in pattern recognition are discussed.

1. INLEIDING

De patroonherkenning is een tak van technologie waarin onderzoekers uit vele vakgebieden zich bezighouden met de theorie en praktijk van het ontwerpen van patroonherkennende systemen. Het automatisch patroonherkennen (als een nieuwe technologische ontwikkeling mogelijk gemaakt door de buitengewone snelle groei van de computertechnologie) was een logisch gevolg van de wens om tot automatisering van arbeids-intensief routinewerk te geraken maar ook om tot automatische interpretatie en bewaking van moeilijk toegankelijke processen (b.v. in kernreactoren) te komen. De theorie en praktijk van het ontwerpen van patroonherkennende systemen wordt in belangrijke mate gevoed door vakgebieden als:

- zuivere en toegepaste wiskunde
- technische wetenschappen
- taalkunde
- computerkunde
- kunstmatige intelligentie

terwijl de invloed van:

- biologie
- psychologie
- medische wetenschappen

zowel theorievormend als gebruikers georiënteerd is. Voor wat de laatste categorie betreft is het goed om op te merken dat de biologische perceptieve- en informatieverwerkende mechanismen zeer complex, grotendeels onbegrepen en voorzover ten dele begrepen, nauwelijks implementeerbaar zijn. Een replica van een biologisch patroonherkennend systeem is derhalve niet voorhanden. In dat licht hanteren we hier dus een veel engere omschrijving van het begrip patroonherkennend systeem: een patroonherkennend systeem omschrijven we als een informatieverwerkend systeem dat in staat is om een hoeveelheid <u>invoergegevens</u> (meetgegevens) in een aantal <u>klassen</u> onder te brengen, een <u>beschrijving</u> ervan te geven, een <u>label</u> er aan toe te kennen ofwel een <u>actie</u> te doen laten plaatsgrijpen, al naar gelang de toepassing. Als invoergegevens beschouwen we uiteenlopende meetbare signalen, beschrijvingen van objecten of toestanden welke verkregen worden door één of meer te gebruiken <u>sensoren</u>. In figuur 1 is een schema weergegeven waarin twee aspecten worden benadrukt: (i) van sensor tot b.v. de actie in de toepassing vindt in het algemeen een enorme informatiereductie (datareductie) plaats: het systeem zelf verwerkt alleen de voor de toepassing <u>relevante informatie</u> en informatietheoretisch bezien is deze hoeveelheid informatie minder dan de hoeveelheid informatie welke is aangeboden aan de sensoren, (ii) de toepassing schrijft voor en bepaalt de keuze van sensoren en inrichting van het patroonherkennend systeem.

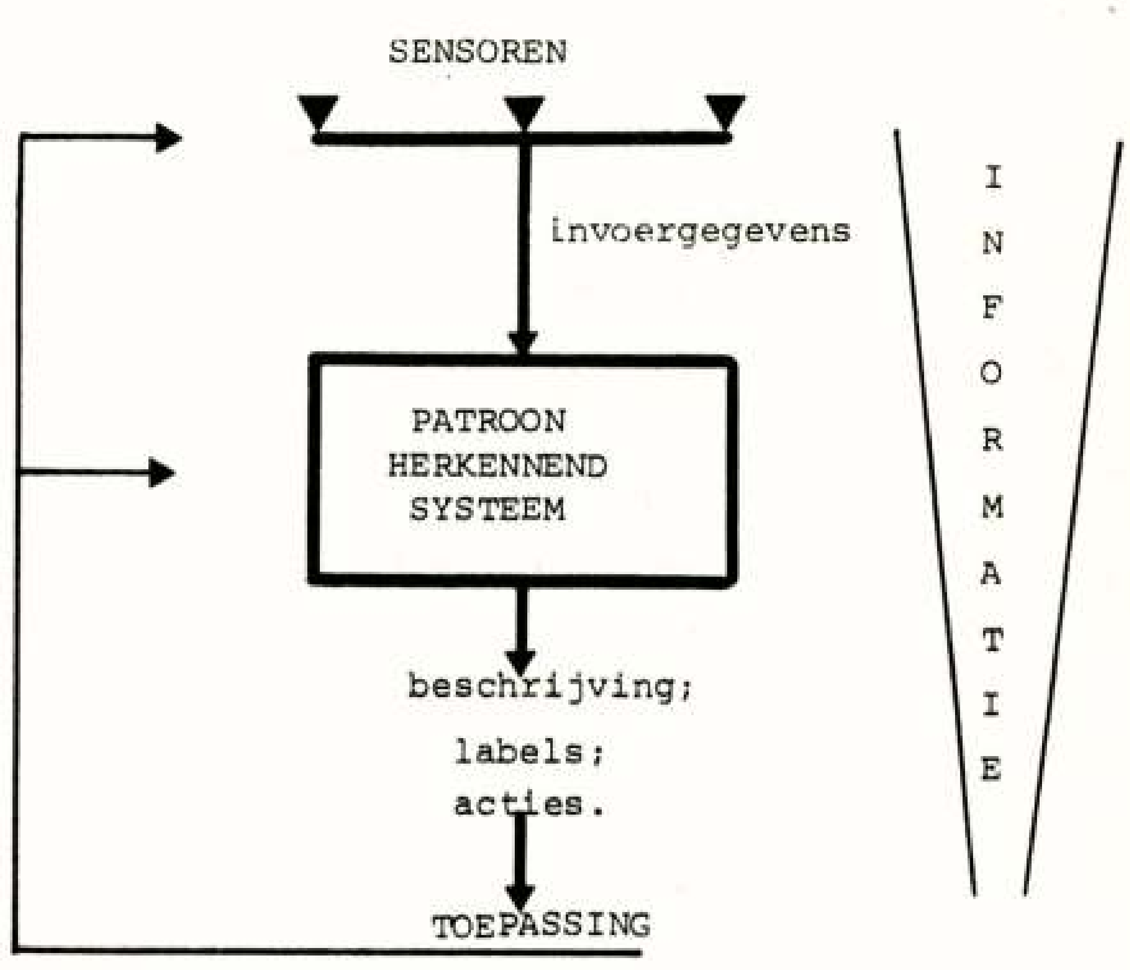


Fig. 1. Informatiereductie bij het gebruik maken van een patroonherkennend systeem; de <u>toepassing</u> dicteert de keuze van sensoren en de inrichting van het patroonherkennend systeem

2. TOEPASSINGEN

Voor automatisch herkennende systemen bestaan zeer vele toepassingsmogelijkheden. Het dient echter gezegd te worden dat de komplexiteit van gerealiseerde herkenningssystemen relatief groot is, zeker indien we de komplexiteit plaatsen tegenover het profijt en de nog beperkte mogelijkheden van het systeem. Niettemin is de grote belangstelling voor dit vakgebied gewettigd; zowel de theorievorming als de implementatie-mogelijkheden zijn nog steeds in stijgende lijn. Het gepresteerde in zo'n drie decaden patroonherkenning rechtvaardigt grote verwachtingen voor de toekomst waarin het aantal toepassingsgebieden zich nog sterk zal uitbreiden.

De opsomming van toepassingsgericht onderzoek welke we hierna laten volgen is niet uitputtend. Van een groot aantal hiervan zijn ŏf operationele prototypen, ŏf operationele pakketten programmatuur ŏf commercieel verkrijgbare systemen gerealiseerd.

BIOMEDISCH:
- EEG en ECG signalen
- chromatografie
- scheiden van proteïne deeltjes
- interpretatie röntgenopnamen
  - nieren
  - maag
  - borst
  - hartmarkers
  - angiogrammen
- interpretatie nucleaire opnamen
  - hart
  - longen
- tomografie m.b.v. röntgen en ultrageluid
- automatische klassifikatie van chromosomen
- diverse automatische klassifikaties in celonderzoek.

SPRAAK:
- klassifikatie van phonemen
- klassifikatie van geïsoleerde woorden (FORTRAN, CIJFERS)
- Interpretatie van korte zinnen
- Identifikatie van sprekers
- Interpretatie lopende spraak (+ context)

LETTERS & CIJFERS :
- Automatische klassifikatie van Cijfers (giro/bank)
- Katakana en Kanji tekens (Chinees/Japans) (karakter tekens)
- FORTRAN (symbolen + context)
- gedrukte tekst
- handgeschreven tekst.

HANDTEKENINGEN :
- (beweging)

VINGERAFDRUKKEN :

REMOTE SENSING :
- automatische interpretatie vliegtuig/sataliet opnamen
- klassifikatie van gewassen en voorspelling/bewaking van groei, ziekte en oogst
- automatisch aanmaken van landkaarten
- milieukartering van o.a. stedelijke- en bosgebieden.

METEOROLOGIE:
- automatische interpretatie van wolkenformaties.

INDUSTRIEEL:
- Inspectie van objecten
- gaafheid van pillen en tabletten
- detecteren van veranderingen in vezelstrukturen
- kontrole LSI-maskers
- product kontrole en assemblage
- kontrole bedrukte bedrading
- lezen verpakkingslabels en magazijnkontrole
- inspectie van oppervlakten (staal/papier/textiel)
- kontrole onderhoud (waarschuwing fouten, overschreiding toleranties).

Ondanks de diversiteit van al deze toepassingsgebieden is voor wat de klassifikatie betreft een gemeenschappelijke opzet te geven: segmentatie en representatie van de invoergegevens, het extraheren van karakteristieke grootheden hieruit (kenmerken), het vormen van een model van deze kenmerkinformatie (generaliseren) en het beslissen op grond van deze informatie.

Een aantal problemen vragen zeer toepassingsgerichte aandacht:
1. struktuur van het systeem
2. sensoren t.b.v. het systeem
3. leren van het systeem
4. klassificeren
5. evalueren van het systeem
6. implementatie van het systeem (hardware/software).

Deze problemen zullen we nu achtereenvolgens de revue laten passeren.

3. STRUKTUUR VAN EEN PATROONHERKENNEND SYSTEEM

De organisatie (weergegeven in figuur 2) doet sterk denken aan de organisatie van biologische perceptieve mechanismen, namelijk een opbouw in lagen: een sensorlaag - hierin kunnen verschillende soorten sensoren gelijktijdig informatie afgeven - gevolgd door een laag waarin de informatie in de een of andere vorm wordt gerepresenteerd (numeriek, struktureel, ordenings-relaties). Op dit niveau spreken we van representatie in de vorm van kenmerken of primitieven. Technisch gesproken roept dit niveau een aantal bijzonder moeilijke vragen op: wat zijn voor de gegeven toepassing geschikte kenmerken/primitieven en hoe dienen ongelijksoortige invoergegevens geschaald/genormeerd te worden. Alle theorie ten spijt treedt hier de inventiviteit van de onderzoeker/ontwerper op de voorgrond. Tenslotte volgen een aantal klassifikatieniveaus.

Per niveau hoeft niet noodzakelijkerwijs eenzelfde soort beslissingen te worden genomen. Het organisatieschema valt uiteen in twee elkaar overlappende deelsystemen, namelijk: (i) van sensor tot en met representatie en (ii) van representatie tot en met de uiteindelijke klassifikatie. In de meeste gevallen hebben we hier te maken met tegenstrijdige eisen.

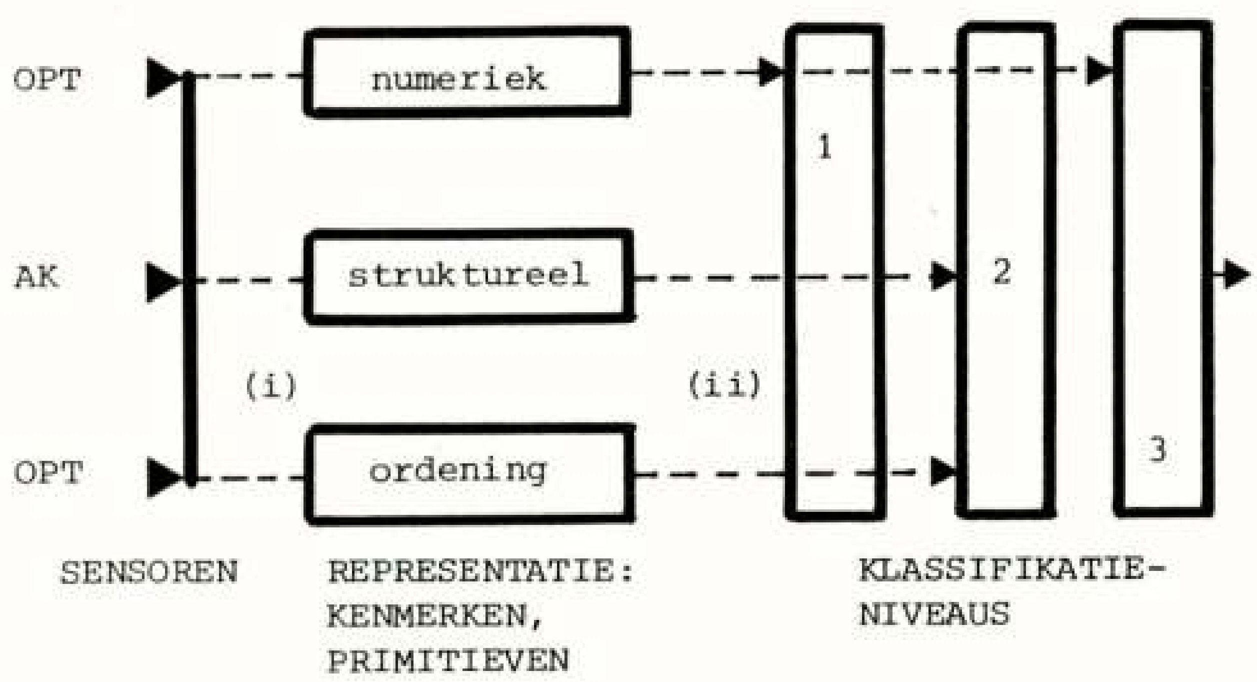


Fig. 2. Struktuur van een patroonherkennend systeem.

Bovendien blijken (i) en (ii) in hoge mate afhankelijk van elkaar te zijn. Noteren we technische kwesties/toepassing als ., operationele randvoorwaarden als Δ en operationele eisen als *, dan volgt dat per toepassing een optimaal antwoord gegeven moet worden voor o.m.:

(i)	(ii)
. kwantisering	. omvang geheugen op. fase
. discretisering	. omvang geheugen leerfase
. bandbreedte	Δ klassifikatietijdsduur
. signaal/ruisverhouding	
. sensorcompensatie	* % korrekte klassifikaties
	* % terugwijzingen
Δ aquisitietijdsduur	* # klassen
	* # kenmerken

Zelfs indien we uitgaan van één sensor, één representatievorm en één klassifikatieniveau, dan nog hebben we te maken met een uiterst komplex optimaliseringsprobleem met als randvoorwaarde dat de som van aquisitietijdsduur en klassifikatietijdsduur een gegeven konstante T is. Uiteraard bewandelt de onderzoeker/ontwerper de 'trial and error' methode om voor zijn specifieke toepassing tot een oplossing te komen.

4. SENSOREN

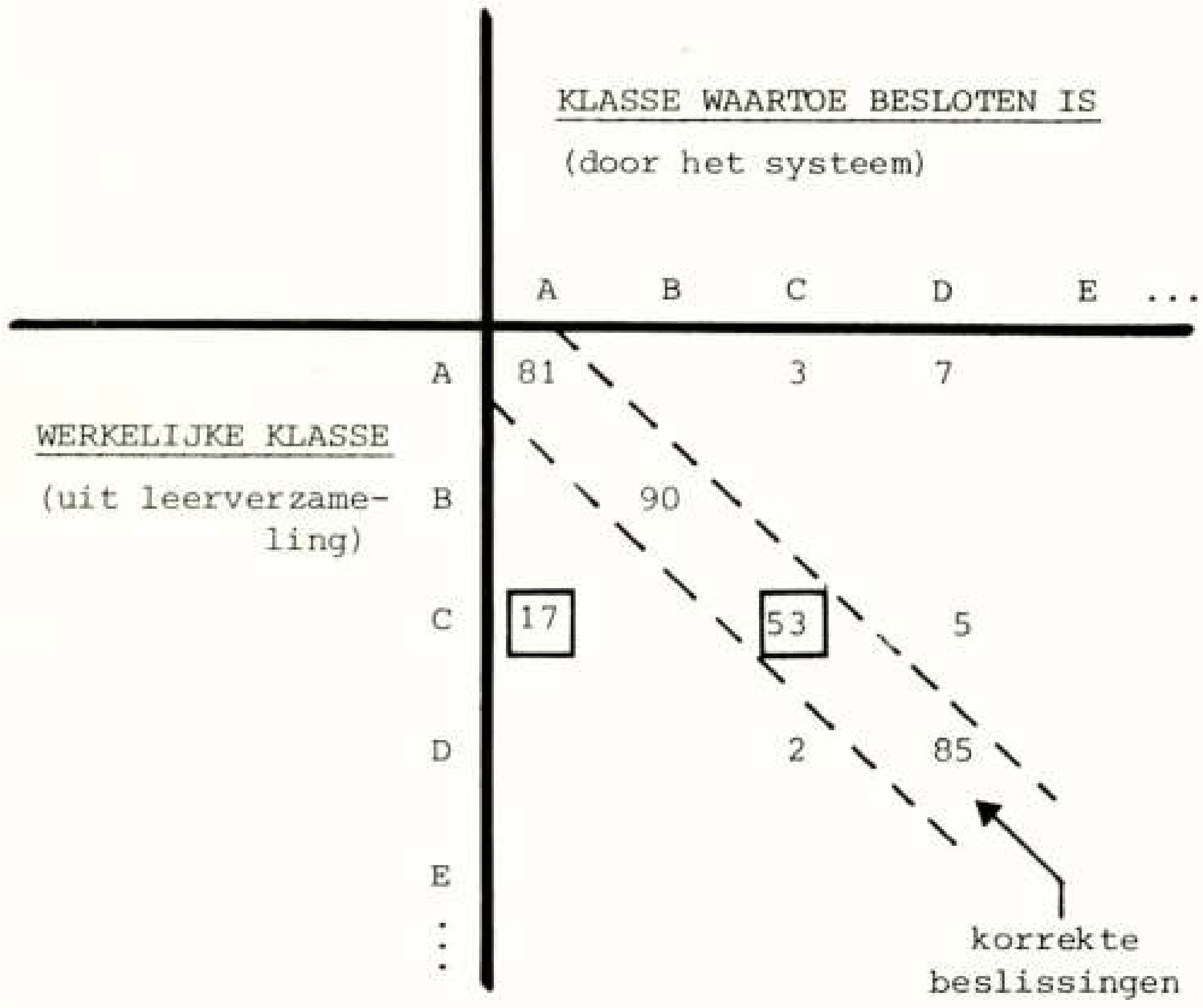
Het vinden van de juiste type sensor is voor iedere toepassing een groot (en voor het resultaat bepalend) probleem. Hierbij gaat het proces van het meten en de fysika hand in hand. Het dient gezegd te worden dat in de praktijk van de patroonherkenning weinig (en in veel gevallen veel te weinig) aandacht wordt gegeven aan de karakteristieke fysische eigenschappen van sensoren. Populair gesproken komt het hier op neer dat slechts voor een beperkt aantal toepassingen een standaard TV-opnemer een geschikte sensor is en dat de bandbreedte van een microfoon niet het enige zaligmakende kriterium is om te kunnen voldoen als akoustische sensor. Bij het beoordelen van de sensor moeten we ons tenminste verdiepen in:

- de gevoeligheid en de stabiliteit
- de signaal/ruisverhouding (triviaal) en vooral de veranderingen in signaal/ruisverhouding
- welke vervorming kan er ontstaan
- hoe te kompenseren voor frekwentie karakteristiek, optredende rotatie/fasedraaiing, schalingseffecten, perspectief e.d.
- welke verzadigingseffecten treden op
- is de sensor te kallibreren.

Het is duidelijk dat onderzoek aan het fysisch mechanisme van de signaalbron vooraf moet gaan aan het realiseren van de juiste sensor.

5. HET LEREN VAN HET SYSTEEM

Het eigenlijke patroonherkennend systeem wordt in het algemeen ontworpen op basis van een verzameling invoergegevens waarvan alles bekend is, de leerverzameling, terwijl ook het gedrag van het systeem kan worden geëvalueerd op basis van een verzameling invoergegevens waarvan evenzo alles bekend is, de testverzameling.
Onder het leren van een patroonherkennend systeem wordt in de ruimste zin verstaan het in het geheugen opnemen van een karakterisering van de invoergegevens per klasse uit de werkelijkheid zó dat het beslissingsmechanisme steunend op deze karakterisering voor de invoergegevens uit de leerverzameling tot een optimaal klassifikatieresultaat leidt. Feitelijk is dit het proces van het generaliseren van zo goed mogelijk klassificeren van de eindige leerverzameling van bekende invoergegevens tot het klassificeerbaar maken van oneindig veel onbekende invoergegevens behorend tot dezelfde probleemstelling. De theorievorming voor dit deelprobleem is diepgaand. Het aantal noodzakelijke vooronderstellingen is echter vaak onrealistisch. Het feit dat analytische behandeling veelal correspondeert met de aanname van oneindig grote leer- en testverzamelingen geeft de discrepantie tussen formeel theoretische behandeling en praktijksituatie goed aan: we hebben vrijwel altijd te maken met kleine, in feite te kleine, leer- en testverzamelingen. De praktijk wijst uit dat veel ad hoc moet worden opgelost en de mens-machine relatie (interactieve methoden) onontbeerlijk is. Tijdens de leerfase zullen we ons daarbij laten leiden door een foutenanalyse in de vorm van het opstellen van zogenaamde verwarringsmatrices. Zo'n verwarringsmatrix heeft de volgende gedaante:



Een dergelijke matrix leert ons niet alleen hoeveel fouten het systeem maakt maar ook welke verwisselingen tussen klassen (substituties) er optreden. Zo zien we dat voor klasse C een meer dan toevallige substitutie van klasse A optreedt. Ook al kan het gemiddeld % fouten binnen de eisen liggen dan nog kan de 'worst case'-substitutie het systeem onaanvaardbaar maken.

In de praktijk hebben we bovendien veelal te maken met scheve kosten, d.w.z. dat substitutie van A → C niet noodzakelijkerwijs de zelfde kosten, het zelfde risico met zich meebrengt als een substitutie van C → A. Hier dienen we rekening mee te houden door een zg. kostenmatrix in het leerproces mee te nemen. Feit is echter dat het voorgaande impliceert een onvoorwaardelijk vertrouwen in 'het representatief zijn' van de leerverzameling voor de werkelijkheid. Anders gezegd: het formeren van een leerverzameling is een probleem van cruciaal belang. Tenminste moet de onderzoeker/ontwerper nagedacht hebben over:

- zijn de klassen wel gedefinieerd?
- het aantal klassen
- zijn de klassen ongelijk van grootte?
  (komt dit tot uiting in de samenstelling van de leerverzameling?)
- Is de substitutie-kostenmatrix bekend?
- Is de leraar feilbaar (d.w.z. bevat de leerverzameling zelf reeds ongewenste substituties?)
- Bestaat er unanimiteit indien meer leraren worden aangewend bij het formeren van de leerverzameling?

Voor wat betreft de methode van leren zijn twee hoofdtypen aan te merken: (1) één complete leerfase gevolgd door de operationele fase en (2) ook tijdens de operationele fase het kennisbeeld in het geheugen van het systeem bij te laten stellen. Het schatten van kansdichtheden en parameters behoren i.h.a. thuis in type (1); het schatten van de coëfficiënten van polynomiale representaties van discriminant functies vinden we in type (1) maar ook in type (2).

6. HET OPERATIONEEL KLASSIFICEREN

We hebben in het voorgaande reeds aangegeven dat per toepassing en op grond van een beschikbare leerverzameling invoergegevens (waarvan alles bekend is) tot invulling van de eigenlijke klassifikator gekomen moest worden. Hieronder was begrepen:

- het bedenken van geschikte kenmerken/primitieven
- het selecteren van effectieve (de meest effectieve) kenmerken (op de feitelijke procedures hiervoor gaan we in dit kader niet in)
- het vormen van een model voor de representatie van de invoergegevens (de leerfase)
- het kiezen van een geschikt beslissingsmodel (statistische beslissingsregels, syntactische beslissingsregels afhankelijk van representatie van invoergegevens én hoeveelheid beschikbaar leermateriaal)
- het optimaliseren (vooral in samenhang met de struktuur van het systeem, de sensoren en het leerproces)
- de (vaak) onontbeerlijke menselijke interactie in het ontwerpen van het systeem.

Centraal bij deze overwegingen is de beoordeling van optredende fouten, de kans op een fout en het % terugwijzingen van die gevallen waarin een toewijzingsbeslissing te marginaal zou zijn. Methodisch bezien kennen we twee hoofd-klassifikatiestructuren: PARALLEL- en SEQUENTIEEL- (of HIERARCHISCH) klassificeren.

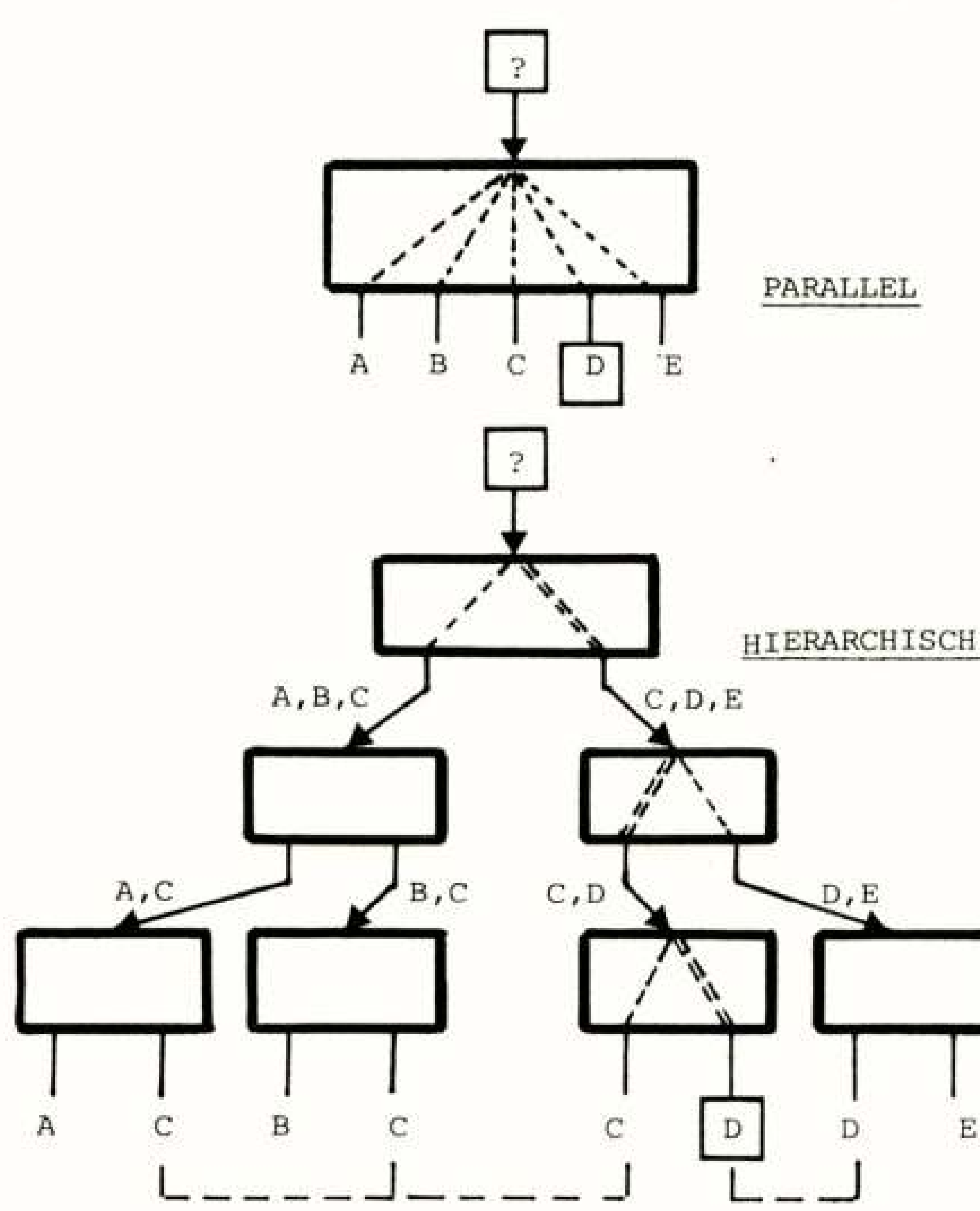


Fig. 3. De parallelle- en hierarchische klassifikatorstruktuur

Beide structuren zijn in figuur 3 weergegeven. Gaan we in beide gevallen weer uit van de klassen A, B, C, D en E dan zien we dat we in de parallel-struktuur éénmalig gebruik maken van alle kenmerkinformatie en in één stap na afwegen van alle mogelijke toewijzingsbeslissingen tot de uiteindelijke beslissing komen (hier klasse D). In de hierarchische-struktuur verfijnen we stapsgewijs de toewijzingsbeslissing waarbij we keer op keer gebruik kunnen maken van andere kenmerkinformatie. Een optredende fout in welke stap dan ook kan echter in navolgende stappen nimmer meer worden gecorrigeerd.

Vooral indien we een groot aantal klassen hebben en over een ruime sortering van kenmerken beschikken is de hierarchische struktuur aantrekkelijk. Hier staat echter tegenover dat het vinden van de meest geschikte vertakkingsboom en het vinden van de meest effectieve kenmerkverzameling voor iedere klassifikator in ieder vertakkingspunt van de hierarchische boom ons plaatst voor een uiterst komplex optimaliseringsprobleem. Hoewel formele methoden beschikbaar zijn voor het oplossen van dit komplexe optimaliseringsprobleem vinden we in de praktijk vrijwel uitsluitend heuristische benaderingen welke langs interactieve wegen tot een meestal sub-optimale structuur leidt.

7. HET EVALUEREN VAN HET SYSTEEM

De uiteindelijke evaluatie van het gedrag van een patroonherkennend systeem is evenals het ontwerpen van het systeem niet eenvoudig. Voorzover een schatting van het percentage korrekt geklassificeerde objecten van betekenis is voor de gebruiker bepaalt het in ieder geval het gemiddeld gedrag in de toekomst in de operationele fase. In het algemeen zullen we als volgt met dit probleem te maken hebben: gegeven N objecten waarvan de juiste klassifikaties bekend zijn, gevraagd hiermee het patroonherkennend systeem te ontwerpen én te evalueren. Een formeel theoretische behandeling is in het algemeen alleen voorhanden indien $N \to \infty$: asymptotisch gedrag. In de praktijk is N zeer eindig en is $N \to \infty$ nooit geldig. Zowel bij het leren als evalueren treden de zogenaamde "small sample size"-effecten op.

Gebruiken we de N objecten voor zowel het leren als het testen dan verkrijgen we een resultaat dat te optimistisch is. Verdelen we N in N_L leerobjecten en N_T testobjecten ($N = N_L + N_T$) dan verkrijgen we een resultaat dat doorgaans pessimistisch is. Voor $N_L \to \infty$ en $N_T \to \infty$ zullen beide resultaten asymptotisch raken aan de werkelijke foutkans. Het lijkt voor de hand dat het onderzoek hieromtrent zich gericht heeft op de vraag hoe N_L en N_T te kiezen en hoe van alle permutaties ervan gebruik te maken opdat een zo zuiver mogelijke schatting van de foutkans met een zo gering mogelijke variantie verkregen kan worden. Bestaande procedures maken echter duidelijk dat men zuiverheid zal moeten afruilen tegen een geringe variantie. De praktijksituatie (toepassing) zal duidelijk moeten maken waaraan de voorkeur gegeven dient te worden. Er is al gewezen op het feit dat ook de 'worst case' klassifikatie uit de verwarringsmatrix een aanwijzing kan zijn hoe (on)bruikbaar een systeem kan zijn.

Een waarschuwing derhalve is op zijn plaats: vergelijking van gelijksoortige patroonherkennende systemen op grond van gerapporteerde klassifikatie percentages is een hachelijke zaak, zeker indien men niet weet hoe deze scores geschat zijn.

8. ARCHITECTUUR EN ALGORITHMEN

Zodra men tot implementatie van een patroonherkennend systeem overgaat is men gedwongen binnen de grenzen van het mogelijke te blijven. Dit geldt in bijzondere mate voor de PROCESSORtijd en omvang van machineGEHEUGEN. In figuur 4 is een en ander schetsmatig weergegeven. De oplosbaarheid van een probleem kent twee uitersten: (1) met een minimaal omvang van machinegeheugen is ieder herkenningsprobleem oplosbaar op voorwaarde van oneindig lange processortijd; omgekeerd, (2) met een minimale processortijd is ieder herkenningsprobleem oplosbaar op voorwaarde van een oneindig grote geheugencapaciteit. De te implementeren oplossing bevindt zich tussen (1) en (2) in en zal vaak alleen mogelijk zijn indien een geschikte architectuur gevonden kan worden en snelle algorithmen tot de mogelijkheden behoren.

We noemen in dit verband slechts:

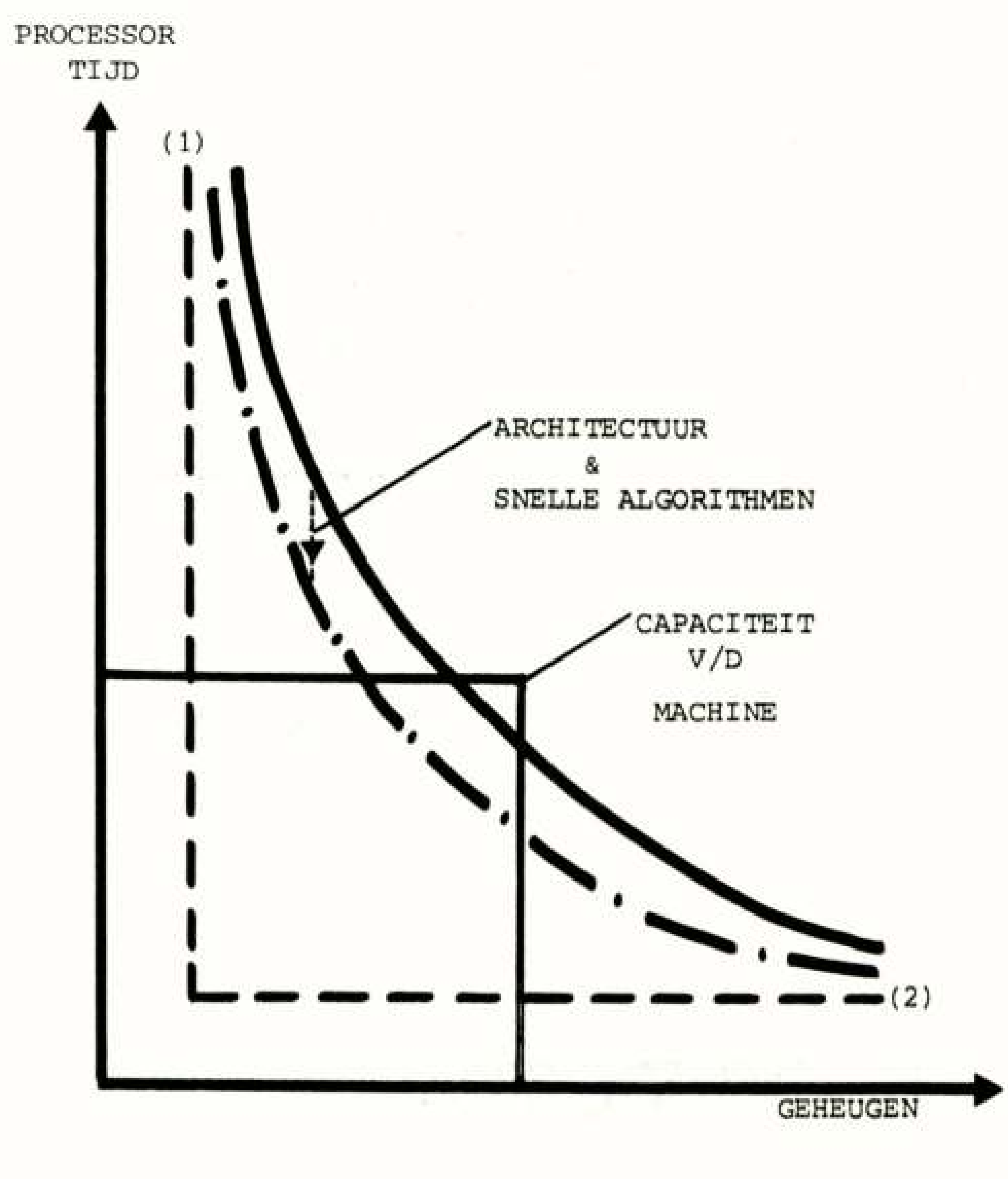
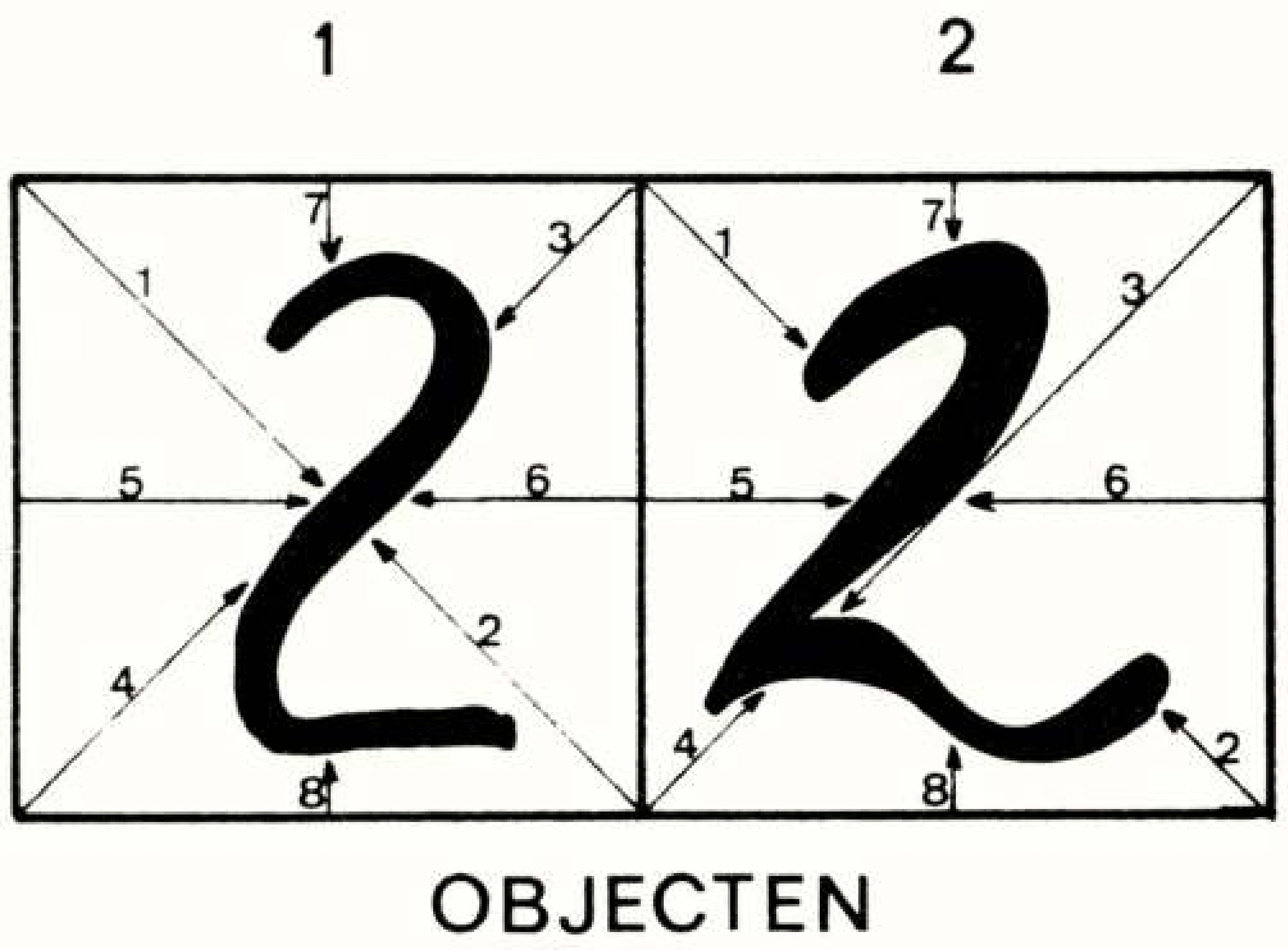


Fig. 4. Implementeerbaarheid van oplossingen voor patroonherkennende systemen; noodzaak voor probleemgerichte architectuur en snelle algorithmen.



$$X_1 = (41,37,20,31,28,23,8,5)$$

$$X_2 = (23,14,56,16,15,30,7,7)$$

Fig. 5. Patroonrepresentatie in een 8-dimensionale kenmerkruimte; in deze kenmerkruimte kan het statistisch model worden gehanteerd.

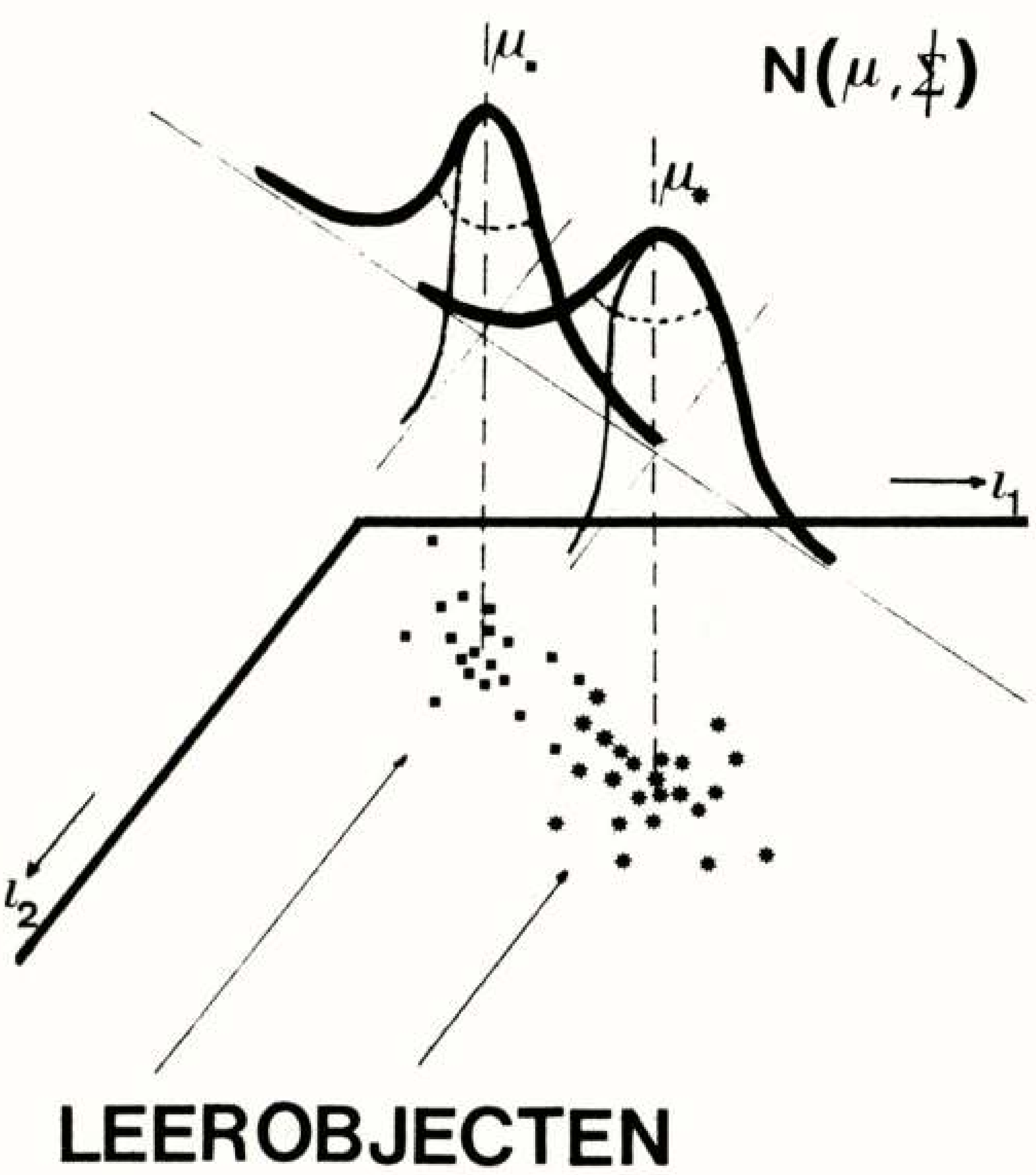


Fig. 6. Karakterisering van het onderliggend kansmechanisme op basis van een eindig aantal afbeeldingspunten (leerverzameling) door Normale kansdichtheden.

ARCHITECTUUR:	- serieel (meestal te langzaam)
	- parallel (in veel gevallen ideaal)
	- 'pipelining' (vaak een aanvaardbare tussenoplossing)
ALGORITHMEN:	- recursief rekenen
	- residu rekenen
	- rekenen in priemgetallen en ondeelbare polynomen
	- snelle zoekalgorithmen
	. dynamisch programmeren
	. 'branch and bound' methoden
	- snelle sorteeralgorithmen.

9. BENADERINGEN VAN HERKENNINGSPROBLEMEN

In het voorgaande zijn we nog maar nauwelijks ingegaan op de methoden van het patroonherkennen zelf. We zullen, tot slot van deze samenvatting, summier een tweetal modellen de revue laten passeren.
Van oudsher is de patroonherkenning opgevat als een statistisch probleem. Dat was niet onlogisch omdat een klasse van patronen opgevat kon worden als de verzameling van een groot aantal realisaties van een stochastisch proces waarvoor immers zou kunnen gelden:

PATROONREALISATIE = PATROONPROTOTYPE + RUIS

Deze denkwijze leidde er toe dat een patroonrealisatie afgebeeld behoorde te worden als een punt een een k-dimensionale ruimte. Een verzameling realisaties beeldde zich daarbij af als een wolk van punten waarvan het middelpunt enigermate fungeerde als prototype en waarbij de afstand van ieder punt tot dit middelpunt iets te maken had met de mate waarin de betreffende realisatie afweek van het prototype. Hiermee was het statistisch model een feit geworden en het dwong de onderzoeker te denken in twee fundamentele richtingen:

a. Representatie: het afbeelden van een patroon in een k-dimensionale metrische ruimte (abstractie),
b. Generalisatie: het karakteriseren in statistische termen van de lokale dichtheid van een wolk van afbeeldingspunten van patroonrealisaties (het begrip afstand is essentieel voor het invoeren van het begrip dichtheid).

NB. Het karakteriseren van het onderliggend kansmechanisme op basis van een eindig aantal afbeeldingspunten (leerverzameling) is precies het reeds eerder geformuleerde proces van leren.
In figuur 5 is een voorbeeld gegeven van objectrepresentatie: de patronen worden afgebeeld in een 8-dimensionale ruimte door 8 geordende uitkomsten van metingen aan het object op te vatten als 8 kentallen van een 8-dimensionale vector. Deze vector (kenmerkvector) legt het afbeeldingspunt in de 8-dimensionale ruimte vast.
In figuur 6 is een (2-dimensionaal) voorbeeld gegeven van

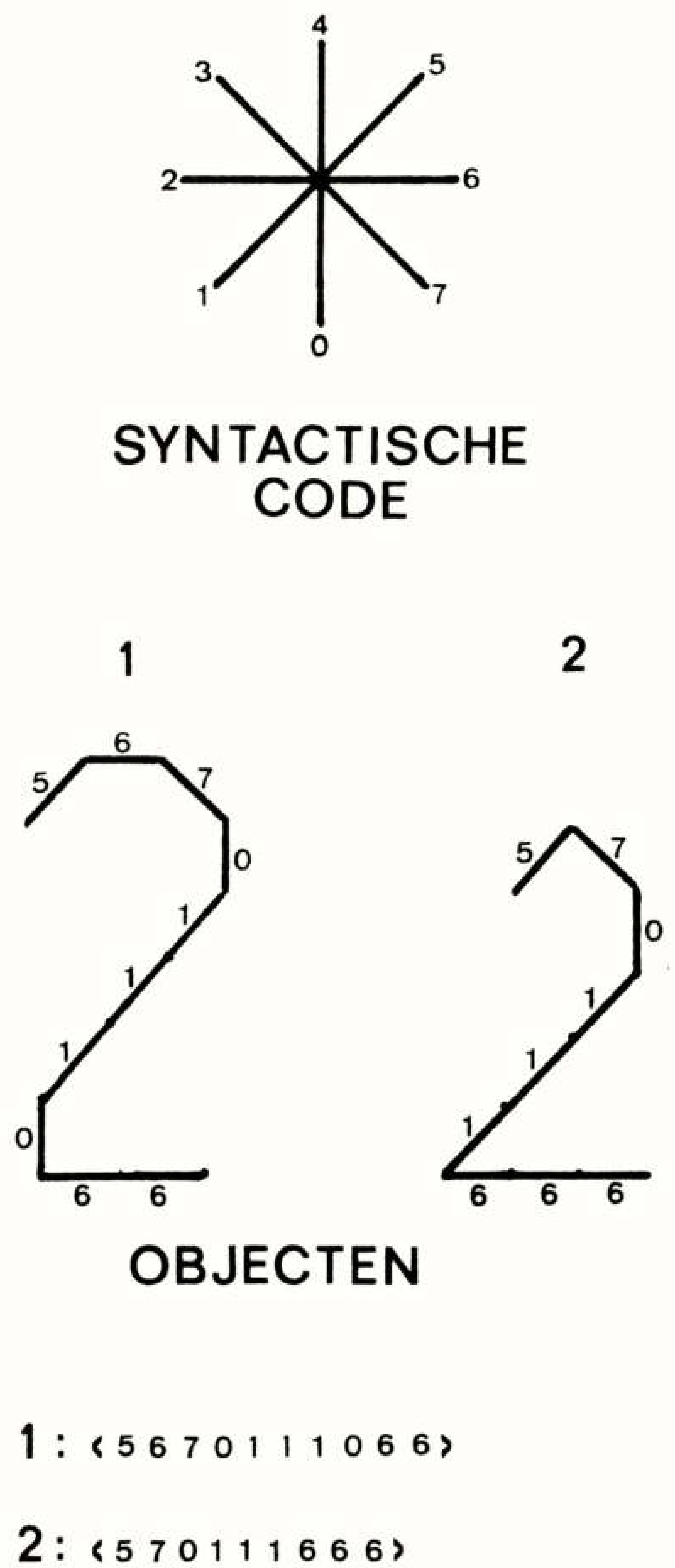


Fig. 7. Syntactische of structurele patroonrepresentatie.

een karakterisering van het onderliggend kansmechanisme (kansdichtheidsfuncties) voor ieder van de te beschouwen klassen (■,✱). Voor iedere klasse (■,✱) is tot een Normale kansdichtheidsfunctie $N(\mu,\Sigma)$ besloten waarin $\mu_{■}$ het klassemiddelpunt is voor de klasse ■ en $\mu_{✱}$ het klassemiddelpunt van klasse ✱, terwijl de varianties in het ℓ_1,ℓ_2-vlak (de kenmerkruimte) per klasse gegeven is door Σ.

Het feitelijke beslissingsmechanisme is dan: voor ieder afbeeldingspunt (een mogelijk onbekend patroon) kan worden nagegaan door welk van de onderliggende kansmechanismen dat patroon met de grootste waarschijnlijkheid is voortgebracht. Het patroon wordt dientengevolge toegewezen aan de bijbehorende klasse (= het toekennen van één der klasselabels). Hiermee is de essentie van het statistisch model weergegeven.

Van geheel andere aard is het structurele of syntactische model. Gestimuleerd door de problematiek van o.a. beeldherkenning en scene-analyse is de syntactische patroonherkenning ontwikkeld. Met de nadruk op de structurele beschrijving van objecten probeert de syntactische patroonherkenning een analogie te trekken tussen de structuur van objecten en de syntax van een taal. Deze analogie is aantrekkelijk door de beschikbaarheid van de mathematische linguistiek als hulpmiddel. De term syntactische patroonherkenning refereert primair aan de objectbeschrijving, de syntaxanalyse (de eigenlijke klassificatie) en de grammaticale inferentie (het leerproces: het opstellen van grammaticale regels op grond van aangeboden symboolrijen van leerobjecten). Om een object te beschrijven moeten we het object segmenteren en tevens de primitieven extraheren. Met andere woorden: elk voorbewerkt object wordt gesegmenteerd in deelobjecten en vervolgens in objectprimitieven gebaseerd op van te voren gespecificeerde syntactische of compositie-operaties. In figuur 7 is de codeafspraak voor de structurele objectprimitieven weergegeven. De beschrijvingen van de beide objecten ontstaan dan door een concatenatie-operator. Op deze manier ontstaan symboolrijen.

De beslissing of een symboolrij al of niet syntactisch korrekt is (d.w.z. behoort tot de klasse van objecten beschreven door een gegeven syntax of grammatica) wordt gemaakt door de syntaxanalyse of parser (ontleder). De syntaxanalyse kan gewoonlijk een komplete syntactische beschrijving van het object produceren in termen van een ontleding of ontledingsboom van het object indien deze syntactisch korrekt is. Anders wordt het object voor deze klasse verworpen en vervolgens geanalyseerd op basis van andere gegeven grammatica's die de overige mogelijke objectklassen kunnen beschrijven.

10. SLOTOPMERKING

We hebben in deze inleiding een aantal aspecten van patroonherkenning aangestipt. Meer dan dat kon het ook niet zijn. Feit is echter, dat de conclusie moet luiden dat er soms een grote discrepantie bestaat tussen formeel theoretische behandeling en praktijksituatie. Veel moet ad hoc worden opgelost; procedures moeten heuristisch worden gevonden en de interactieve benadering is veelal onontkoombaar. Voorts bleek dat de komplexiteit van herkenningssystemen relatief zeer groot is.

Het vakgebied geniet een grote en nog steeds toenemende belangstelling. Deze belangstelling is gewettigd omdat zowel de theorievorming als de implementatiemogelijkheden zich nog steeds in stijgende lijn bewegen. Bovendien dienen zich een steeds groter aantal toepassingsgebieden

aan. De verwachtingen over de toekomst zijn danook met reden hooggespannen.

AANBEVOLEN LITERATUUR

1. L. Kanal (1974). Patterns in Pattern Recognition: 1968 - 1974. *IEEE Trans. on Information Theory*, Vol. IT-20,6,697-722.
2. K.S. Fu (1980). Recent Developments in Pattern Recognition. *IEEE Trans. on Computers*, Vol. C-29,10,845-854.

Voordracht gehouden op 9 april 1981 in het PTT vergadercentrum te Utrecht op een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (nr.296), de Sectie Telecommunicatietechniek KIvI, en de Benelux Sectie IEEE.

BEELDSEGMENTATIE ALS CLASSIFICATIEPROBLEEM

ir. J.J. Gerbrands
Technische Hogeschool Delft
Afdeling der Elektrotechniek
Vakgroep Informatietheorie

Image segmentation as a classification problem. The low-level segmentation stage in digital image analysis is approached as a classification problem. Each picture element is assigned a feature vector and is classified by using techniques from statistical pattern recognition. Gray-level thresholding as well as the use of textural features are discussed for segmenting monochrome images. The importance of the use of contextual information is stressed.

INLEIDING

Bij het analyseren van visuele beelden met behulp van een digitale computer wordt meestal een eerste stap onderscheiden die wordt aangeduid met beeldsegmentatie. Hieronder verstaat men het verdelen van het beeld in gebieden of componenten zodat een soort plattegrond ontstaat. De gebieden zijn in eerste instantie onbenoemde, betekenisloze elementen waaraan pas op hogere niveaus in het meestal hiërarchisch opgebouwde analyse-proces betekenis wordt toegekend. Dit impliceert wel dat we van het segmentatieresultaat eisen dat het interpreteerbaar moet blijken te zijn. In het algemeen betekent dit dat men bij het ontwerpen van de segmentatie-stap doelgericht en probleemgebonden te werk gaat. Los van een specifieke probleemstelling wordt de doelstelling van de segmentatie-fase abstract geformuleerd als het verdelen van het visuele beeld in deelgebieden die homogeniteit vertonen in een of andere eigenschap.

In de literatuur op het gebied van de digitale beeldverwerking wordt een groot aantal methoden van beeldsegmentatie behandeld (Rosenfeld 1976, Gonzalez 1977, Pratt 1978, Castleman 1979). Men kan op twee manieren een dichotomie maken van deze methoden. Ten eerste onderscheiden we methoden die er op gericht zijn de homogeniteit binnen gebieden te gebruiken om de gebieden op te sporen en methoden die er op gericht zijn de discontinuïteit tussen twee homogene gebieden te detecteren om de grenzen van de gebieden te vinden. In de angelsaksische literatuur wordt dit wel de "region approach" tegenover de "edge approach" genoemd. Het eindresultaat van dergelijke duale procedures kan zeer wel vrijwel identiek zijn, maar de wegen waarlangs men wandelt om dit resultaat te bereiken zijn zeer verschillend. In de tweede dichotomie onderscheiden we parallelle en sequentiële methoden. Hierbij wordt onder parallel verstaan dat de bewerkingen en beslissingen op een bepaalde positie in het beeldvlak niet beïnvloed worden door elders in het beeld verkregen resultaten, zodat in principe alle beeldpunten simultaan en parallel verwerkt zouden kunnen worden. Bij de sequentiële methoden bestaat deze afhankelijkheid van elders verkregen resultaten juist wel, zodat een parallelle implementatie principieel niet mogelijk is.

We beperken ons voor de verdere discussie tot methoden die zowel het predicaat "parallel" als het predicaat "region approach" dragen. In de volgende paragrafen wordt de relatie tussen dergelijke methoden van beeldsegmentatie en het classificatieprobleem uit de klassieke statistische patroonherkenning nader uitgewerkt voor stilstaande, monochrome beelden.

DREMPELSEGMENTATIE

Als de objecten in het te analyseren beeld zich duidelijk van de achtergrond onderscheiden door een redelijk groot verschil in helderheid, dan ligt het voor de hand dat het beeld gesegmenteerd kan worden door het hanteren van een beslissingsdrempel met betrekking tot de helderheidswaarde van ieder beeldelement ("picture element", "pixel"). Als we bijvoorbeeld denken aan een of meer lichte objecten tegen een egale, donkere achtergrond, dan resulteert het aanleggen van een drempel T op de helderheidswaarden van de pixels van een digitaal beeld in een plattegrond $f_T(i,j)$ waarbij

$$f_T(i,j) = \begin{cases} 1 & \text{als } f(i,j) \geq T \\ 0 & \text{als } f(i,j) < T \end{cases}$$

als $f(i,j)$ de helderheid is op positie (i,j). Dit is wel de meest eenvoudige vorm van beeldsegmentatie. Als een geschikte waarde voor de drempel T gevonden kan worden, zijn in de binaire plattegrond alle objectpixels gemerkt met een "1" en alle achtergrond-pixels met een "0". Er ontstaan duidelijke gebieden als er groepen connectie-

ve beeldpunten zijn die hetzelfde label hebben gekregen. In een volgende fase van het analyse-proces kunnen deze gebieden bijvoorbeeld op grond van hun vorm als objecten worden geclassificeerd.

Het enige probleem bij deze drempelsegmentatie is het selecteren van een geschikte drempel. Dit is geenszins een triviaal probleem en de keuze van de drempel beïnvloedt het segmentatie-resultaat in hoge mate. In de literatuur zijn zeer veel voorstellen gedaan voor drempel-selectie. De klassieke methoden zijn vrijwel alle direct gebaseerd op het histogram van de in het beeld voorkomende helderheden. In het hier geschetste voorbeeld van lichte objecten tegen een donkere achtergrond is het histogram in principe bimodaal, dat wil zeggen dat er een piek of modus is bij het achtergrondsniveau en een modus bij het objectniveau. Eén van de manieren om op grond van een bimodaal histogram een segmentatie-drempel te bepalen is de modus-methode. De twee dominante pieken in het histogram worden opgespoord en vervolgens wordt het minimum bepaald dat tussen deze beide relatieve maxima ligt. De helderheidswaarde die overeenkomt met dit minimum wordt gekozen als segmentatiedrempel. Figuur 1 toont een video-opname van een coronair angiogram, een röntgenopname waarbij de kransslagaderen worden afgebeeld door deze via een catheter met röntgencontraststof te vullen. Het binnen het gesuperponeerde venster gelegen gedeelte wordt gedigitaliseerd in 128 x 128 pixels en 256 helderheidsniveaus. Ter illustratie van de modus-methode is van deze data het histogram bepaald (figuur 2). Op grond van het enigszins geëffende histogram is met behulp van het modus-algoritme automatisch de drempel bepaald. Het segmentatie-resultaat wordt in figuur 3 weergegeven. Overigens dient te worden opgemerkt dat eenvoudige drempelmethoden niet geschikt zijn om het gehele beeld van figuur 1 in een keer te segmenteren.

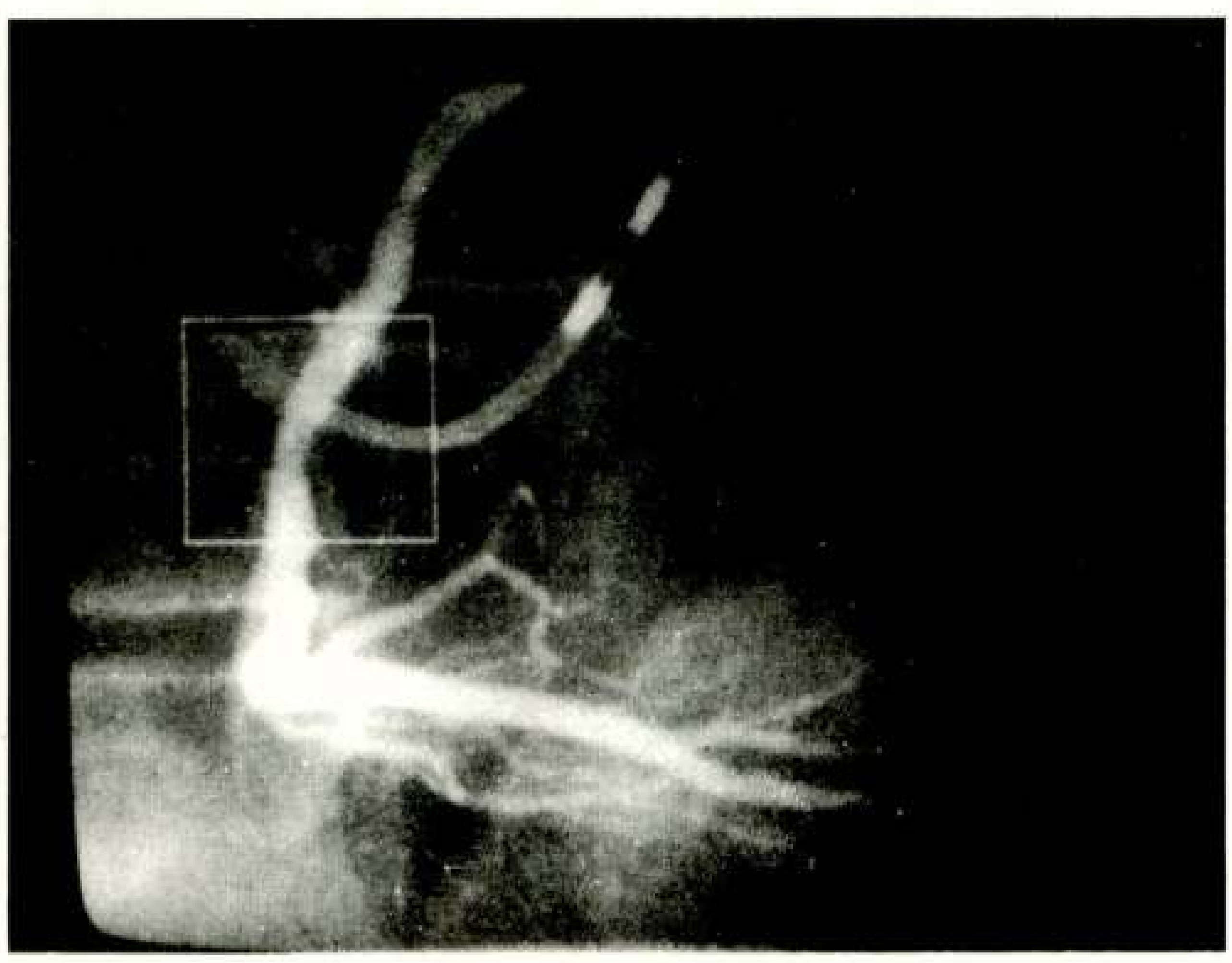


Fig. 1. Coronair angiogram met digitaliseringsvenster.

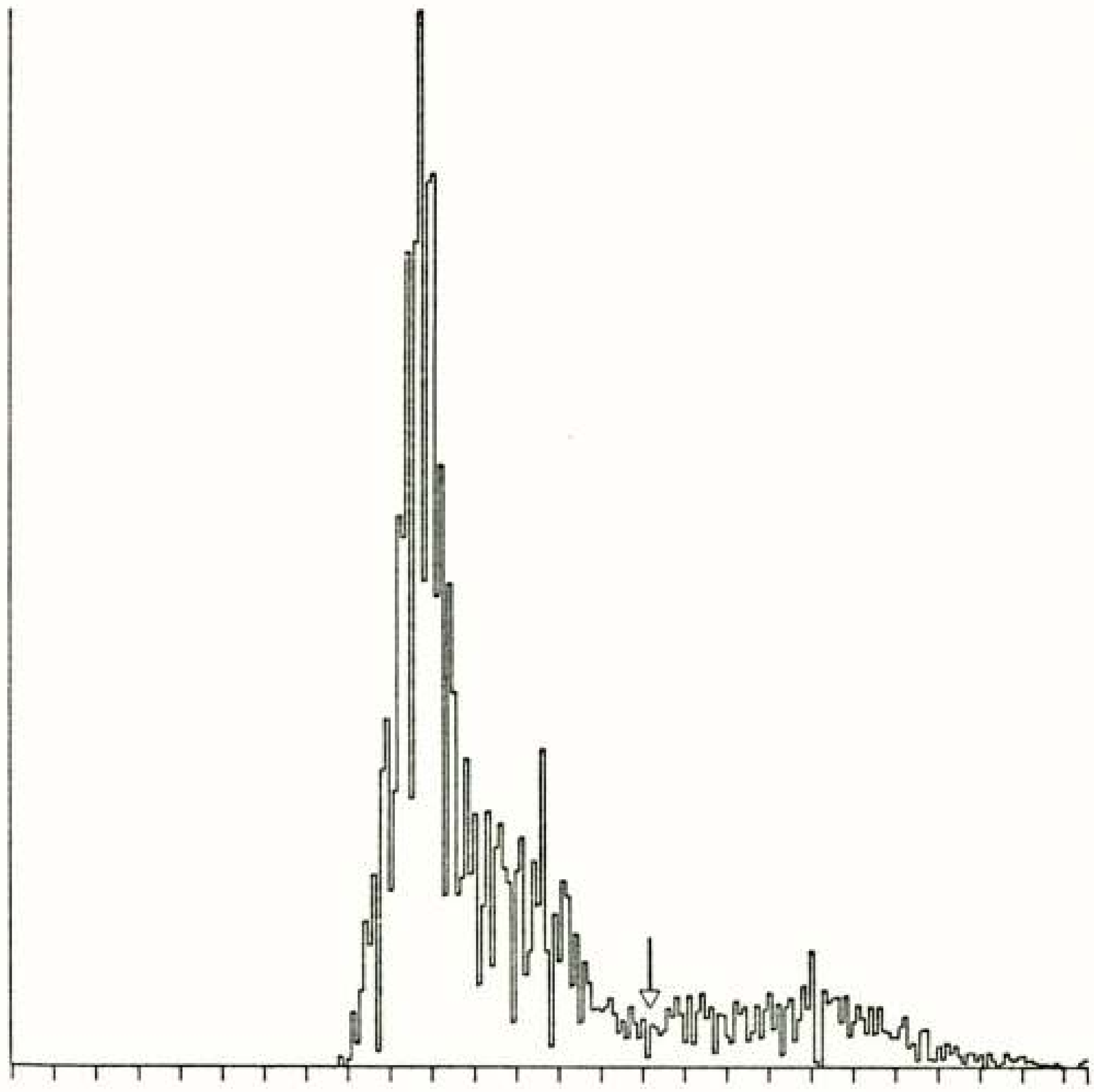


Fig. 2. Histogram van helderheidswaarden. De pijl geeft de geselecteerde drempel aan.

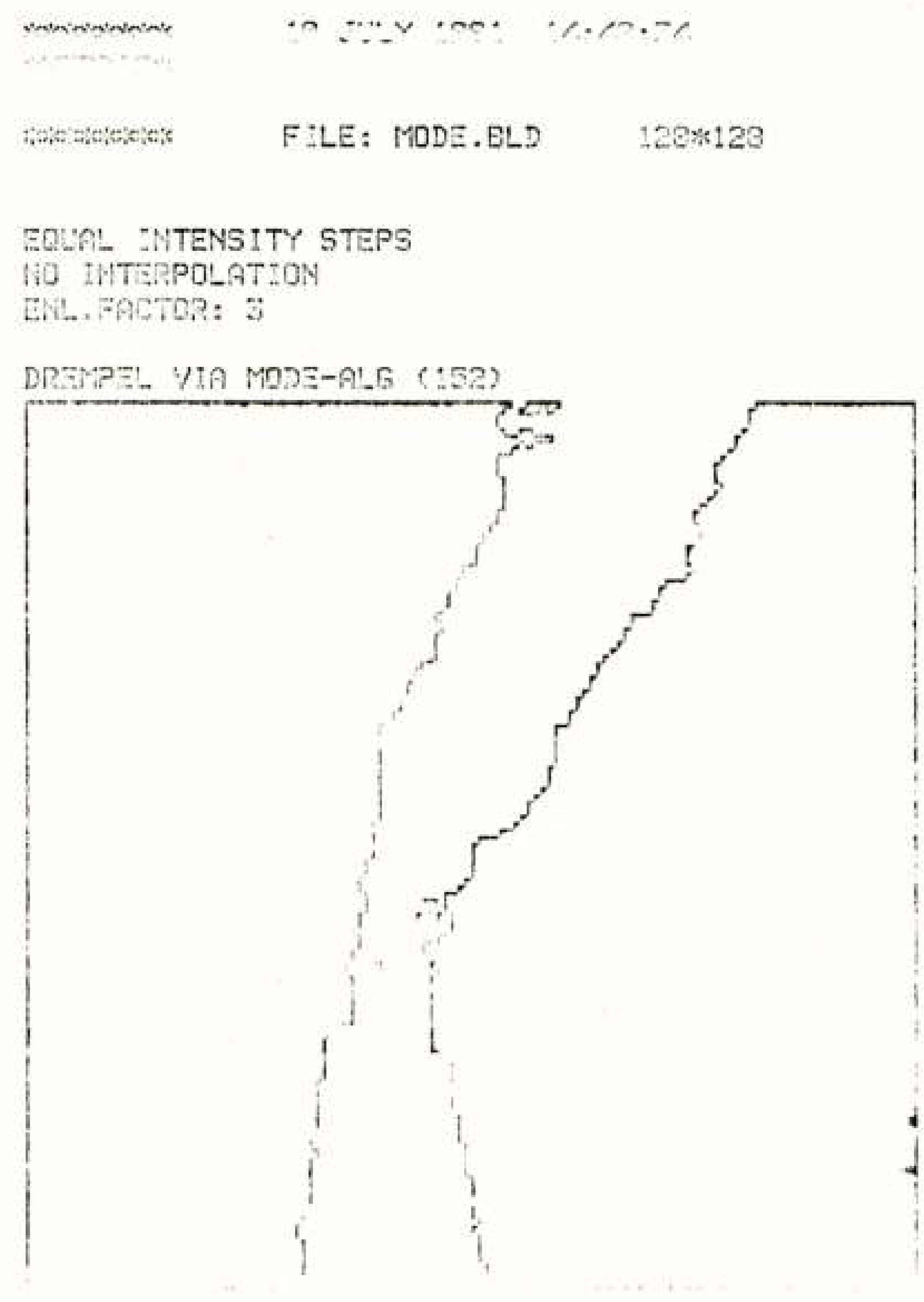


Fig. 3. Segmentatie-resultaat.

PIXEL-CLASSIFICATIE

Het hierboven geschetste segmentatie-probleem kan zeer goed vertaald worden in termen van de statistische patroonherkenning. In de statistische patroonherkenning wordt aan een te classificeren object een kenmerkvector toegevoegd. De waarden van de verschillende kenmerken worden vastgesteld door metingen te doen aan het object. Classificatie vindt nu plaats op grond van de positie van het eindpunt van de kenmerkvector in de zogenaamde kenmerkruimte. In de ontwerpfase van het patroonherkenningssysteem worden in de kenmerkruimte beslissingsvlakken bepaald, die de kenmerkruimte partitioneren in deelruimten, waarbij aan iedere deelruimte ondubbelzinnig een objectklasse wordt gekoppeld. Het te classificeren object krijgt nu het label van de deelruimte waarin het door zijn kenmerkvector wordt afgebeeld.

Bekijken we nu in deze context het bovengeschetste drempelsegmentatie-probleem, dan zien we dat de te classificeren objecten hier de beeldelementen zijn en dat we over slechts één kenmerk beschikken, namelijk de helderheid. De horizontale as van het histogram vertegenwoordigt de één-dimensionale kenmerkruimte. De object/achtergrond-discriminatie uit de vorige paragraaf impliceert dat er in het patroonherkenningsprobleem sprake is van twee klassen.

Indien we over voldoende kennis beschikken over de onderliggende kansdichtheden, kunnen we dat scheidingsvlak in de kenmerkruimte bepalen dat aanleiding geeft tot een minimale waarde van de kans op foutieve classificatie. In onze één-dimensionale kenmerkruimte is dit scheidingsvlak in veel gevallen één enkel punt op de helderheidsas. Als we de segmentatie-drempel hieraan gelijkstellen verkrijgen we de minimum-foutkans-drempel. Om de waarde hiervan te berekenen gaan we uit van het volgende model. De klasse van objectpunten in het oorspronkelijke beeld heeft a priori een kans van optreden $P(\omega_1)$ en een kansdichtheid van de helderheid $p_1(f)$, waarvan de verwachting μ_1 is en de standaardeviatie σ_1. Evenzo heeft de achtergrondklasse a priori kans $P(\omega_2)$, kansdichtheid $p_2(f)$, verwachting μ_2 en standaarddeviatie σ_2. De kansdichtheid $p(f)$ van de helderheidswaarden van het totale beeld wordt dan

$$p(f) = P(\omega_1)\ p_1(f) + P(\omega_2)\ p_2(f).$$

We willen nu het beeld segmenteren met één enkele drempel T, waarbij T zodanig wordt gekozen dat de gemiddelde kans op foutieve classificatie geminimaliseerd wordt. Dit leidt tot

$$P(\omega_1)\ p_1(T) = P(\omega_2)\ p_2(T)$$

waaruit T moet worden opgelost. Als nu voor de kansdichtheden $p_1(f)$ en $p_2(f)$ Gaussische verdelingen worden gekozen met gelijke spreidingen, d.w.z. $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$, en de a priori kansen $P(\omega_1)$ en $P(\omega_2)$ eveneens gelijk zijn, wordt als oplossing voor T gevonden:

$$T = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}\ .$$

Er kan worden aangetoond (Rosenfeld, 1976) dat als bovendien geldt dat

$$|\mu_1 - \mu_2| > 2\sigma$$

de kansdichtheid $p(f)$ een minimum vertoont voor f=T. Dit speciale geval is daarmee een voorbeeld van een situatie waarin de op de theorie van de statistische patroonherkenning gefundeerde minimum-foutkans-drempel in essentie gelijk is aan de drempel die gevonden wordt met de heuristische methode van het bovenbeschreven modus-algoritme.

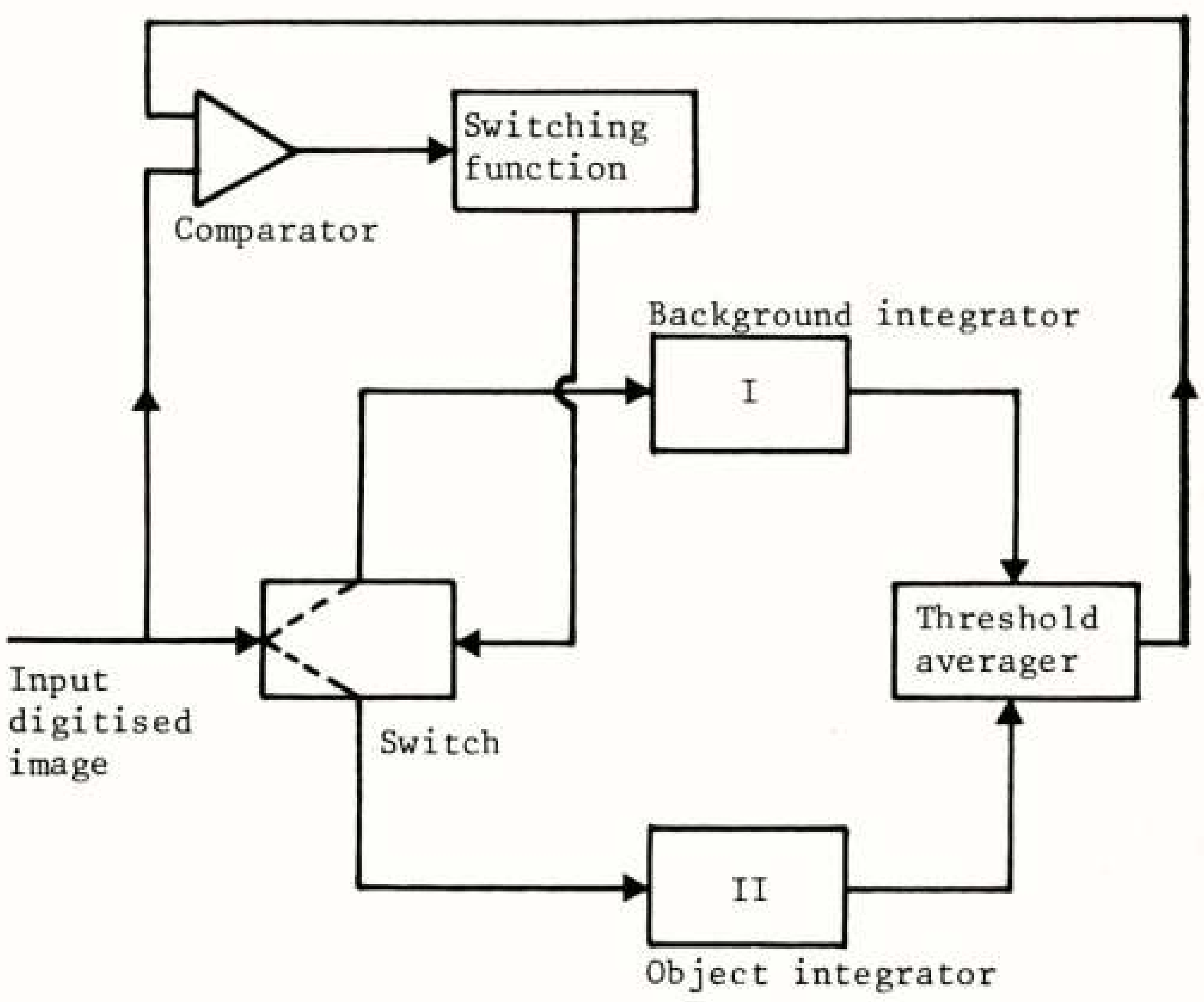


Fig. 4. Iteratieve drempel-selectie. Ontleend aan Ridler en Calvard, 1978.

ITERATIEVE DREMPELSELECTIE

Een tweede voorbeeld van automatische drempelselectie wordt gevormd door een iteratieve procedure (Ridler en Calvard, 1978) waarbij wordt uitgegaan van een initiële segmentatie van het beeld in achtergrond en object. De procedure wordt geïllustreerd in figuur 4. De "switching function" die de "switch" bedient is het binaire, gesegmenteerde beeld. Afhankelijk van de waarde van de "switching function" wordt de helderheidswaarde van een aangeboden beeldelement gebruikt voor het bepalen van een schatting van het gemiddelde achtergrondsniveau (I) of van het gemiddelde objectniveau (II). Na integratie over alle pixels zijn de schattingen verkregen en wordt een nieuwe drempel berekend door het gemiddelde te nemen van achtergrond- en objectniveau. Hiermee wordt het beeld

opnieuw gedrempeld, zodat een nieuwe "switching function" wordt verkregen. De procedure wordt herhaald tot de drempel niet meer van waarde verandert.

Ook deze methode van iteratieve drempelselectie kan zeer wel worden beschreven in termen van de statistische patroonherkenning. Analyse van de procedure van Ridler en Calvard leert (Dias Velasco, 1980) dat de procedure identiek is aan het ISODATA cluster-algoritme. In de patroonherkenning wordt van cluster-algoritmes gebruik gemaakt indien men geen voorkennis heeft omtrent de onderliggende kansdichtheden, noch de beschikking heeft over een voldoend groot aantal gelabelde leerobjecten om deze verdelingen te schatten. Men gaat nu uit van de kenmerkvectoren van een aantal ongelabelde objecten. Met behulp van een cluster-algoritme brengt men een partitie teweeg van deze verzameling in een aantal homogene clusters. De term homogeen betekent hier dat objecten in eenzelfde cluster in hun kenmerkbeschrijving onderling meer gelijkenis vertonen dan ten opzichte van objecten in andere clusters. In het ISODATA cluster-algoritme worden initiële clustercentra gekozen in de kenmerkruimte. Vervolgens worden de datapunten toegewezen aan het volgens een afstandscriterium dichtstbijgelegen centrum. Hierdoor ontstaan clusters waarvan de centra bepaald kunnen worden. De procedure wordt herhaald op basis van deze nieuwe centra en stopt als de clustercentra niet meer van positie veranderen. De iteratieve drempelselectie-methode van Ridler en Calvard is identiek met het ISODATA algoritme voor twee klassen (object en achtergrond), één kenmerk (helderheid) en de Euclidische afstand als afstandscriterium.

KENMERKEN VOOR PIXELCLASSIFICATIE

Wanneer we een visueel beeld willen segmenteren door het classificeren van de pixels is het dikwijls noodzakelijk te beschikken over meer kenmerken dan alleen de helderheid, zodat de vraag rijst welke pixel-eigenschappen nog meer in beschouwing zouden kunnen worden genomen. Indien we ons niet beperkt hadden tot monochrome beelden zou kleur een voor de hand liggende mogelijkheid zijn. Naast helderheid en kleur speelt bij de perceptie van visuele beelden het begrip textuur een belangrijke rol en het ligt dan ook voor de hand te pogen hier kenmerken aan te ontlenen.

Er zijn vele pogingen gedaan het begrip textuur adequaat te definiëren. Textuur kan bijvoorbeeld worden omschreven als het karakter van de micro-structuur van een oppervlak. In een luchtfoto hebben grasland en bos een verschillende micro-structuur, waarbij het gemiddelde helderheidsniveau van beide gebieden zeer wel identiek kan zijn. Voor de automatische textuuranalyse is het noodzakelijk te beschikken over textuurmodellen. De vele mogelijke benaderingen worden gewoonlijk verdeeld in statistische en structurele modellen, terwijl ook enige mengvormen voorkomen. Bij de structurele modellen gaat men er van uit dat textuur gekarakteriseerd kan worden door een aantal primitieven (de textuurelementen) die in het platte vlak van het beeld gerangschikt zijn in een min of meer regelmatig patroon. De wetmatigheden in dit patroon worden beschreven met behulp van grammaticale regels. Textuuranalyse geschiedt nu met behulp van de theorie der formele talen. In de statistische modellen, waartoe we ons hier beperken, wordt het helderheidsverloop in het beeld opgevat als een stochastisch signaal. De eigenschappen van dit signaal kan men bijvoorbeeld karakteriseren met behulp van autocorrelatiefuncties, met de gemiddelde waarde van de modulus van de gradiënt per eenheid van oppervlakte of door de statistische relaties tussen paren van beeldpunten te beschrijven. Elk van deze benaderingen leidt tot specifieke textuurmaten die de textuur kwantificeren. Voor een uitgebreid overzicht wordt verwezen naar de literatuur (Haralick, 1979).

Als voorbeeld beschouwen we een aantal textuurmaten die gebaseerd zijn op de statistische relaties tussen paren van beeldpunten. Stel dat we binnen een n x n venster V in een op een vierkant raster gediscretiseerd beeld de textuur willen kwantificeren. Kies dan een vector $\underline{d}$ met als kentallen de gehele getallen dx en dy. Beschouw nu voor alle mogelijke puntparen

$$P = (x_i, y_i) \text{ en } Q = (x_i + dx, y_i + dy)$$

die beide in V liggen de absolute waarde van het verschil in helderheid en stel het histogram van deze verschillen op. Dit histogram wordt aangeduid als de Gray-level Difference (GLD) vector. Het is nu de bedoeling dat deze GLD-vector representatief is voor de textuur binnen het venster. Op basis van de GLD-vector kan een aantal textuurmaten worden gedefinieerd, zoals

GLD-MEAN: $\quad m_1 = \sum_i i \cdot p(i)$

GLD-ENTROPY: $\quad m_2 = -\sum_i p(i) \cdot \log p(i)$

GLD-CONTRAST: $\quad m_3 = \sum_i i^2 \cdot p(i)$

waarin p(i) de waarde is van het i-de element van de GLD-vector, d.w.z. p(i) is de relatieve frequentie van een absoluut helderheidsverschil ter grootte i. Met behulp van een dergelijke maat wordt aan de textuur binnen het venster V een getal toegekend, dat niet alleen afhankelijk is van de beelddata binnen V en de gekozen maat, maar tevens van de keuze voor de oriëntatie-vector $\underline{d}$.

Op de volgende wijze kan van dit soort maten gebruik gemaakt worden om kenmerken voor pixel-classificatie op te stellen. Kies de venstergrootte van het venster klein ten opzichte van de beeldafmetingen. Bepaal nu voor iedere mogelijke positie van het venster V binnen het beeld de waarde van de gekozen textuurmaat en wijs deze waarde telkens als kenmerkwaarde toe aan het beeldelement dat

correspondeert met het centrum van het venster.

Gezien het grote aantal textuurmaten dat gepubliceerd is, lijkt hiermee de mogelijkheid geopend te beschikken over een ruime keuze uit pixel-kenmerken voor beeldsegmentatie, waarbij direct dient te worden opgemerkt dat de meeste textuurmaten onderling zeer sterk gecorreleerd zullen zijn. Er zijn echter enige principiële en praktische bezwaren die hier niet onvermeld mogen blijven. Een praktisch probleem is de keuze van de venstergrootte. Deze dient groot te zijn opdat de statistische betrouwbaarheid van de gemeten textuurwaarde voldoende gewaarborgd is. In de nabijheid van de grens tussen twee verschillend getextureerde gebieden in het beeld impliceert een groot venster echter dat binnen het venster een mengpopulatie ontstaat, doordat het venster zich gedeeltelijk in het ene en gedeeltelijk in het andere gebied bevindt. Hierdoor ontstaat het verschijnsel dat nabij textuurgrenzen sterk afwijkende waarden worden gevonden die de segmentatie ernstig bemoeilijken. Voor segmentatie-doeleinden is het dus juist aantrekkelijk het venster klein te kiezen, teneinde de verstoorde strook langs een textuurgrens smal te houden. Een tweede praktisch bezwaar betreft de rekentijd. Veel in de literatuur voorgestelde textuurmaten blijken nog al rekenintensief. Hoopgevend is echter dat uit experimenten is gebleken dat relatief eenvoudige maten niet noodzakelijkerwijs slechtere kenmerken opleveren dan meer complexe maten. Deze experimenten waren echter te beperkt van opzet om hier algemeen geldende conclusies uit te mogen trekken.

Een principieel probleem geldt het toekennen van de in een venster gemeten waarde van de textuur als kenmerk aan het centraal in het venster gelegen pixel. Textuur is per definitie een locale eigenschap, d.w.z. dat textuur uitsluitend over een gebied van enige uitgebreidheid bepaald kan worden. Het is dan ook een kunstgreep hier pixel-kenmerken aan te ontlenen voor beeldsegmentatie. Dit leidt tevens tot het vanuit patroonherkenningsstandpunt uiterst merkwaardige verschijnsel dat voor het bepalen van de waarde van een kenmerk van een te classificeren object (hier: een pixel) een meting gedaan wordt die zich uitstrekt over een aantal andere objecten (de naburige pixels) die eveneens geclassificeerd moeten worden, waarbij het in verband met de segmentatie van het beeld juist de bedoeling is vast te stellen of het object zich onderscheidt van diezelfde buren. Zoals hierboven reeds is aangestipt veroorzaakt dit vooral problemen in de nabijheid van textuurgrenzen. Het herinnert ons er tevens aan dat beeldelementen geen willekeurige objecten zijn die door middel van een kenmerkvector in een statistisch patroonherkenningssysteem geclassificeerd kunnen worden, maar objecten waarvan bovendien de positie in de verzameling te classificeren objecten van groot belang is. Bij pixelclassificatie ten behoeve van beeldsegmentatie dient dan ook niet uitsluitend informatie vanuit de kenmerkruimte betrokken te worden, maar daarnaast ook contextuele informatie uit het beelddomein. Mogelijkheden om dat te realiseren zijn bijvoorbeeld gelegen in relaxatie-labelprocedures (Gerbrands, 1981).

SLOTOPMERKINGEN

In het bovenstaande is gepoogd aan te geven dat voor het segmenteren van visuele beelden met vrucht gebruik gemaakt kan worden van methoden en technieken uit de statistische patroonherkenning. Men dient zich echter te realiseren dat naast informatie uit de kenmerkruimte ook contextuele informatie uit het beelddomein gebruikt dient te worden. Tevens is aangegeven dat een aantal binnen de beeldverwerking gebruikte methoden zeer goed te beschrijven is in termen van de theorie van de statistische patroonherkenning. Het angiogram van figuur 1 is afkomstig van de afdeling Klinische en Experimentele Beeldverwerking, Thoraxcentrum, Erasmus Universiteit, Rotterdam.

LITERATUUR

K.R. Castleman, Digital Image Processing. Englewood Cliffs, New Jersey (Prentice-Hall) 1979.

F.R. Dias Velasco, "Thresholding using the ISODATA Clustering Algorithm", IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, SMC-10 (1980) 771-774.

J.J. Gerbrands, "Relaxatie-methoden in Digitale Beeldsegmentatie", Tijdschrift van het NERG, 46 (1981) 11-16.

R.C. Gonzalez en P. Wintz, Digital Image Processing. Reading, Mass. (Addison-Wesley) 1977.

R.M. Haralick, "Statistical and Structural Approaches to Texture", Proceedings IEEE, 67 (1979) 786-804.

W.K.Pratt, Digital Image Processing. New York (Wiley) 1978.

T.W. Ridler en S. Calvard, "Picture Thresholding using an iterative Selection Method", IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, SMC-8 (1978) 630-632.

A. Rosenfeld en A.C. Kak, Digital Picture Processing. New York, (Academic) 1976.

Voordracht gehouden op 9 april 1981 in het PTT vergadercentrum te Utrecht op een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (nr. 296), de Sectie Telecommunicatietechniek KIvI, en de Beleux Sectie IEEE.

NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP
(295ste werkvergadering)
SECTIE TELECOMMUNICATIETECHNIEK KIvI
IEEE BENELUX SECTIE

UITNODIGING

voor de lezingendag op donderdag 19 februari 1981 in Collegezaal E van de Afdeling der Civiele Techniek van de Technische Hogeschool te Delft

Thema: Elektronika in Onderwijs

PROGRAMMA:

9.30 uur	Ontvangst en koffie
10.00 uur	Drs. Th.M.E. Liket (Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen) Inleiding
10.30 uur	Prof. Dr. Ir. J. Davidse (TH Delft) Konsekwenties van de elektronische revolutie in het onderwijs
11.15 uur	Koffiepauze
11.30 uur	Ir. C.A.P.G. van der Mast (TH Delft) Een modulair systeem voor computergestuurd onderwijs
12.00 uur	Lunchpauze en bezichtiging van de tentoonstelling
13.45 uur	Ir. K.D.J.W. van der Drift (R.U. Leiden) Doelmatigheids-aspekten van computergestuurd onderwijs
14.30 uur	Drs. F.J. Krips (Wolters/Noordhoff, Groningen) Toepassing van elektronische hulpmiddelen in het onderwijs
15.00 uur	Theepauze
15.30 uur	Dr. D.J. Kroon (Philips Natuurkundig Laboratorium) Intelligente media
16.00 uur	Diskussie
16.30 uur	Sluiting

Er is gelegenheid tot het tentoonstellen en evt. demonstreren van meegebrachte apparatuur en materiaal. Aanmelding kan geschieden door inzending van de aangehechte kaart. De mogelijkheid bestaat om op de TH de lunch te gebruiken. Daartoe kunnen bonnen besteld worden door een bedrag van *f* 12,50 over te maken op gironummer 3099125 t.n.v. Penningmeester IEEE - Benelux Sectie te Waalre. De betaling dient te zijn ontvangen voor 15 februari 1981.
De bestelde bonnen kunnen voor de aanvang van de lezingen worden afgehaald bij de zaal. Op de dag zelf zijn geen bonnen meer verkrijgbaar.

Maarheeze, januari 1981

Namens de samenwerkende verenigingen
Ir. G.J.A. Arink
Telefoon overdag 040 - 762060
's avonds 04959 - 1761

AUTOMATISERING BIJ DE CHROMOSOOMHERKENNING

Dr.ir. F.C.A. Groen
Vakgroep Signaal/Systeemtechniek (sektie Patroonherkennen)
Afdeling der Technische Natuurkunde TH Delft

Automation in chromosome recognition. During the last 15 years research has been done to automate chromosome recognition, with limited success. If appropriately stained in the metaphase stage of the cell division, the 46 human chromosomes show a banding pattern. Chromosomes can be classified based on global features and features specific for the banding pattern. Results obtained with this classification make it necessary that a chromosome recognition system be interactive. This interaction results in a limited cost-effectiveness of such an automatic system. On the other hand quantitative chromosome measurements allows the possibility of statistically determining small aberrations besides yielding the classification.

INLEIDING

In de celkernen van de normale mens is DNA aanwezig dat, onder bepaalde omstandigheden zich manifesteert als 46 individuele chromosomen. Het DNA waaruit deze chromosomen zijn opgebouwd is de drager van de erfelijke eigenschappen. Deze liggen gecodeerd door de wijze waarop een viertal basen opeenvolgend in het DNA-molecuul voorkomen. De 46 chromosomen kunnen worden onderscheiden in 22 paren homologe chromosomen en 2 geslachtschromosomen. Van elk homoloog paar en van de 2 geslachtschromosomen is één chromosoom afkomstig geweest van de vader en één van de moeder. De vrouw heeft twee X geslachtschromosomen en de man één X en één Y chromosoom.

Een aantal afwijkingen kunnen in dit normale chromosoompatroon voorkomen, waarvan de meest bekende trisomiën zijn. In dit geval is er van een bepaalde soort een extra chromosoom aanwezig, zodat de celkern dan 47 chromosomen bevat. Een voorbeeld is mongolisme waarbij 3 chromosomen 21 voorkomen. Ook afwijkingen in de aantallen geslachtschromosomen komen voor.

Naast afwijkingen in het aantal chromosomen kan ook een deel van een chromosoom ontbreken (deletie) of naar een ander chromosoom zijn overgegaan (translocatie). Een deel van de cellen van een organisme kan normaal zijn en een deel niet, wat mosaïcisme wordt genoemd. Daarnaast komen zeer kleine afwijkingen voor bij overigens geheel normale personen, deze worden polymorfismen genoemd.

Chromosoomonderzoek is met name van belang bij het onderzoek naar erfelijke afwijkingen, prenatale diagnostiek, de invloed van mutagenen (chemische stoffen, virussen of ioniserende straling) en bij fundamenteel onderzoek naar celdifferentiatie en celfunctie.

Chromosomen kunnen zichtbaar gemaakt worden wanneer de cel zich in het metafase stadium van de celdeling bevindt. In dit stadium contraheren de chromosomen zich tot objectjes van 20 µm tot 5 µm lang. Elk chromosoom bestaat in dit stadium uit 2 chromatiden die ter plaatse van het centromeer nog aan elkaar vast zitten. Na het metafase stadium van de celdeling gaan beide chromatiden elk naar een dochtercel.

De preparatie bestaat uit het kweken van de cellen (bijv. bloedcellen) gedurende ongeveer 72 uur om een zo groot mogelijk aantal zich delende cellen te verkrijgen. Door het toevoegen van colcemide aan de kweek worden daarna de cellen, die het metafase stadium bereiken daarin vastgehouden. Hypotonische shock en fixatie levert een celsuspensie, waarvan de cellen worden gespreid op een preparaatglaasje en daarna gekleurd. Van een dergelijk preparaat dienen de analyseerbare metafasen te worden opgezocht. Van een aantal bruikbare metafasen worden de chromosomen geteld en van enkele metafasen wordt een karyogram gemaakt. Een karyogram bestaat uit de geordende chromosomen van een metafase; het wordt verkregen door uitknippen en opplakken van de chromosomen van een foto van de metafase.

De chromosomen kunnen zichtbaar worden gemaakt door kleuring. De oudste technieken (orceïne) geven een homogene kleuring van de chromosomen. Bij deze kleuringen kunnen de chromosomen op grond van hun lengte en centromeer positie in 10 groepen worden ingedeeld volgens het Denversysteem (1960). Naast deze homogene kleuringen zijn ook kwantitatieve kleuringen mogelijk, waarbij de hoeveelheid opgenomen kleurstof evenredig is met de hoeveelheid DNA zodat DNA metingen aan chromosomen kunnen worden gedaan.

Nieuwe impulsen ontstonden in 1968 toen Caspersson (Caspersson et.al. 1968) een kleuringstechniek ontdekte, waarbij een karakteristiek bandenpatroon ontstaat over de lengte-richting van een chromosoom. In figuur 1 is een voorbeeld van een dergelijke kleuring gegeven. Hierdoor werd het mogelijk om de 24 verschillende menselijke chromosomen individueel te klassificeren. Een nieuwe karyotypering gebaseerd op deze bandenkleuring werd op een conferentie in Parijs (Hamerton 1973) vastgesteld.
Een idiogram van deze karyotypering is gegeven in figuur 2.

Automatisering kan in verschillende stadia van de

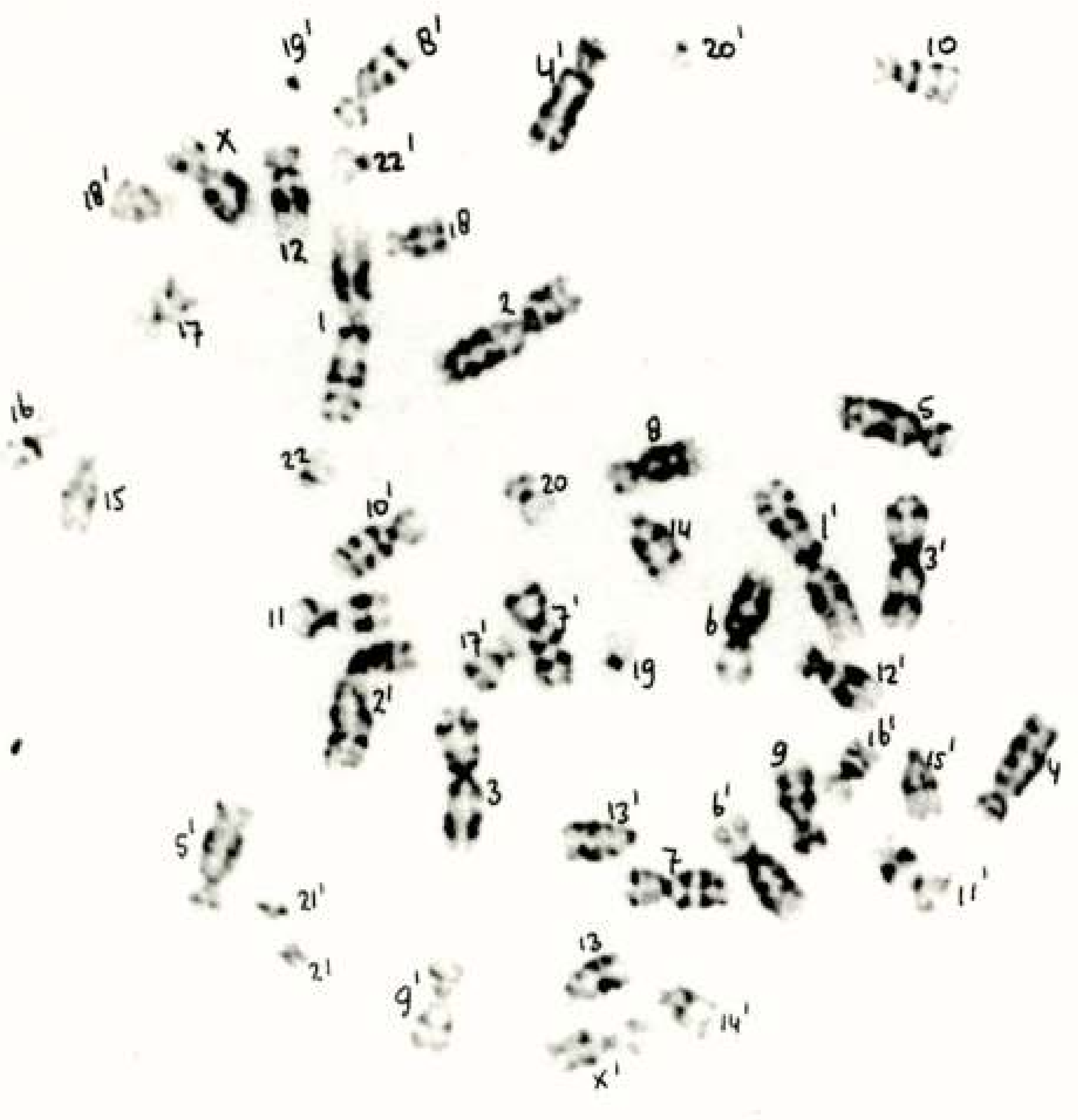


Fig. 1: Foto van een bandgekleurde metafase (giemsa-kleuring). In de foto zijn de chromosoomtypen aangegeven.

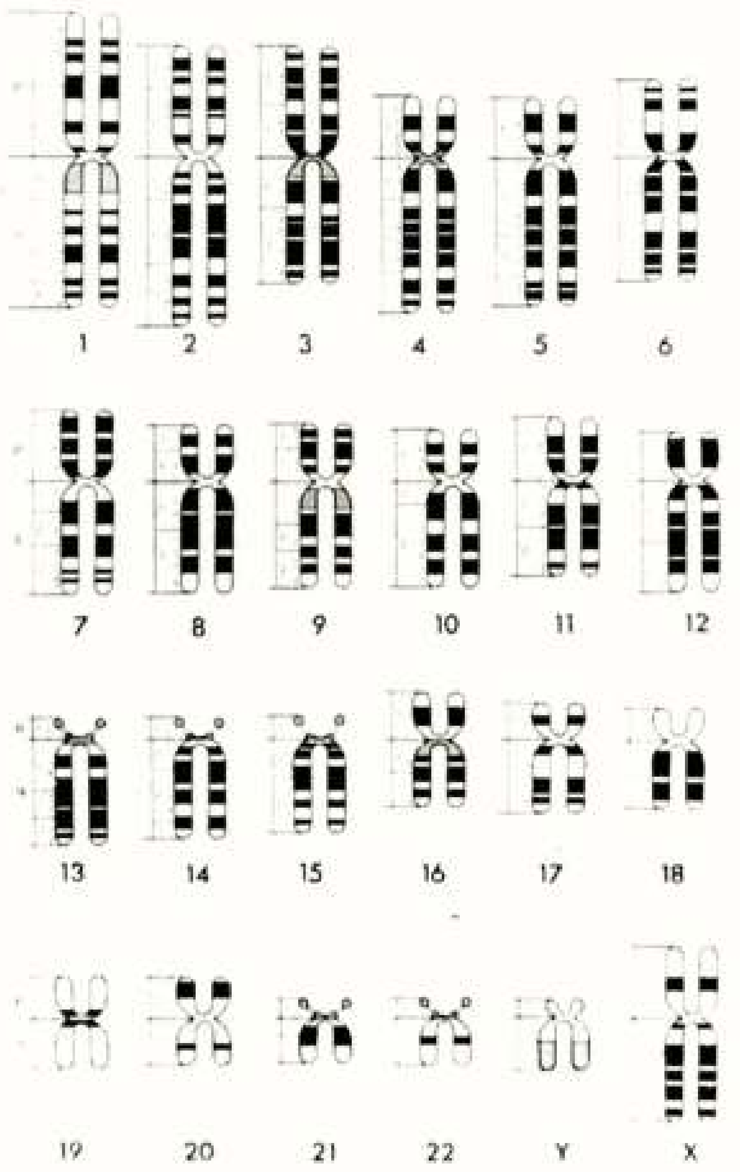


Fig. 2: Idiogram van de karyotypering volgens de Parijse conferentie (naar Hamerton 1973).

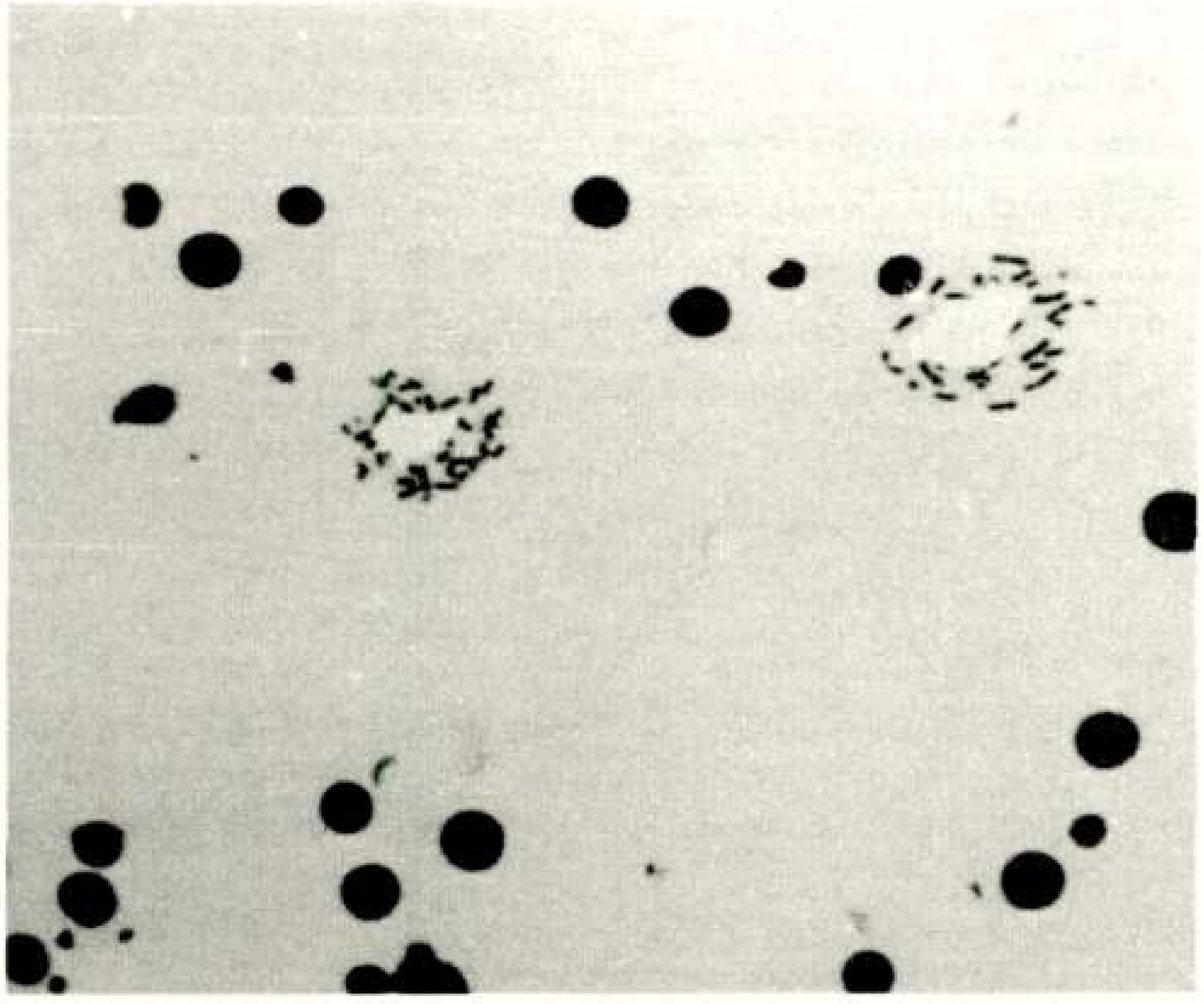
chromosoomanalyse worden toegepast. Automatisering van de kweek en de preparatie is een onderwerp, waarnaar enige onderzoeken zijn gedaan, die echter buiten het bestek van dit overzicht vallen. Automatisering van de metafase selectie is een onderwerp dat momenteel sterk in de belangstelling staat en tot economisch verantwoorde systemen lijkt te komen. Automatisering bij het karyotyperen, dus het herkennen van chromosomen is een onderwerp, waaraan reeds 15 jaar door verschillende groepen gewerkt wordt (Piper et.al. 1980). De resultaten die hiermee behaald zijn, maken nog steeds interactie via de analist nodig. De chromosoomkenmerken die voor het herkennen worden gebruikt, maken het ook mogelijk om statistische toetsen toe te passen om chromosoomafwijkingen te vinden.

Na een kort overzicht van automatische metafase selectie, zullen de beeldbewerkingstechnieken worden besproken om chromosoomkenmerken te bepalen, die bij de klassificatie gebruikt kunnen worden. Tot slot zullen de specifieke problemen bij de klassificatie van chromosomen worden behandeld en de resultaten worden besproken.

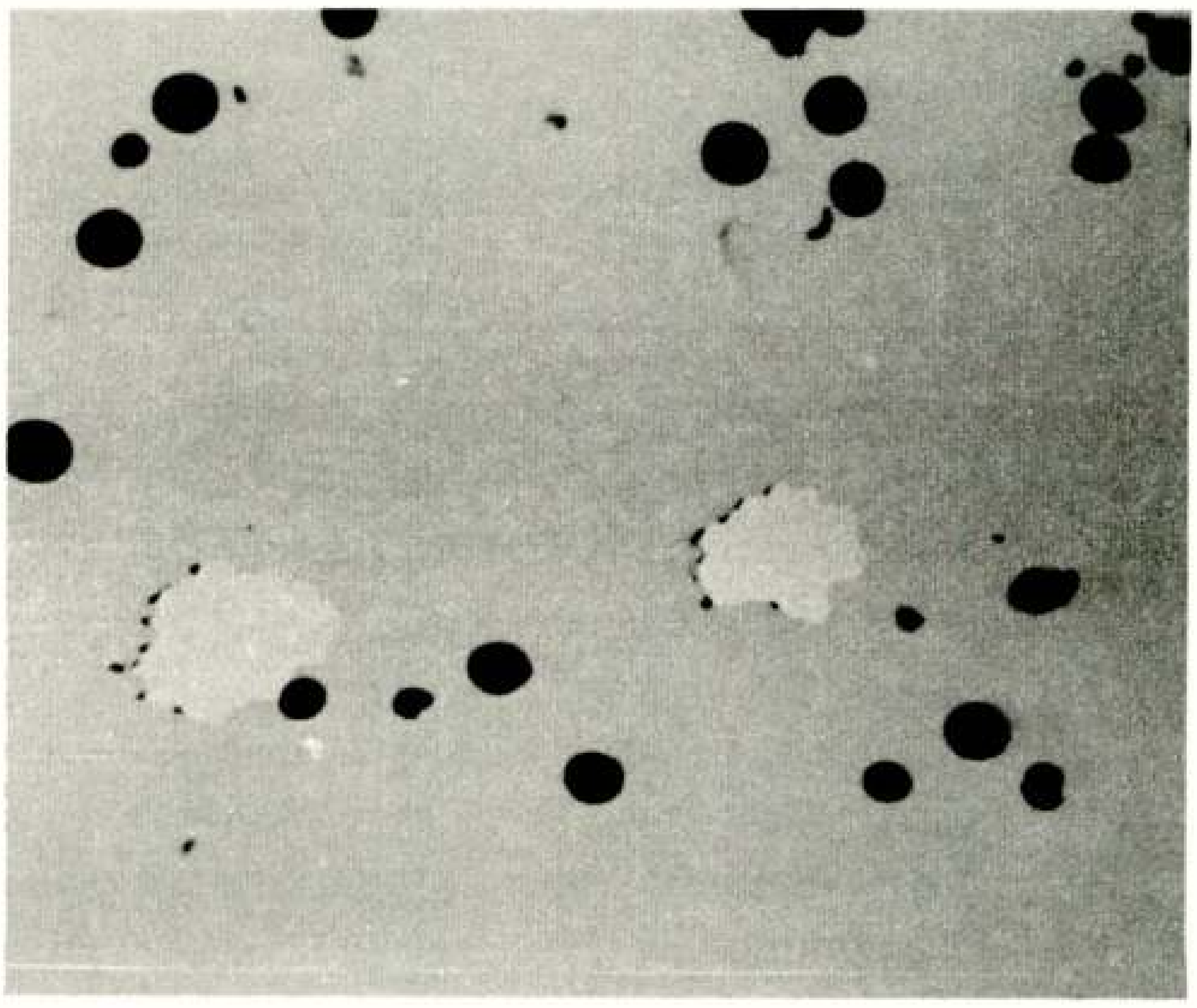
AUTOMATISCHE METAFASE SELECTIE

De tijd die nodig is voor het zoeken naar analyseerbare metafasen is sterk afhankelijk van de rijkdom van het preparaat aan dergelijke metafasen. Dit aantal is meestal enkele honderden maar kan liggen tussen de 10 en de 1000 per glaasje. Met name bij beenmerg preparaten is dit aantal zeer gering en kan het zoeken naar analyseerbare preparaten een substantieel deel van de totale analyse tijd uitmaken (tot meer dan 50%).

Aangezien in het algemeen een aanzienlijk deel van een preparaatglaasje moet worden afgezocht is de scantijd zeer kritisch. De gebruikte systemen kunnen wat betreft de scanners in twee typen worden ingedeeld: a) de systemen waarbij de microscoop met motorgestuurde tafel, steeds van veld naar veld stapt, dat met bijvoorbeeld een t.v.-camera wordt geanalyseerd en b) de systemen waarbij continu gescand wordt met bijvoorbeeld een lineair array van fotodiodes of een CCD array. De algorithmen, die worden gebruikt, berusten op het vinden van een cluster van kleine objectjes van bepaalde afmetingen.
Een voorbeeld van systemen die veld voor veld scannen, is het systeem dat door de Leuvense groep (Van Daele et.al. 1979) is ontwikkeld. Hierbij wordt het veld ingedeeld in 64 gebieden, waarin het aantal objecten en het object oppervlak worden bepaald. Voldoen een aantal aaneengesloten gebieden aan de vereiste criteria, dan worden deze als een mogelijke metafase aangemerkt. Commerciele general purpose systemen waarmee op deze wijze metafasen kunnen worden gezocht zijn het Tas en het Quantimet systeem. Bij het Tas (Leytas) systeem (Vrolijk 1980) worden metafasen bepaald uit een binair beeld via erosie en dilatie operaties. Dit zijn beeldbewerkings operaties waarbij de rand van objecten wordt afgepeld of uitgebreid. Door dilatie kunnen de chromosomen aangroeien tot ze het gehele metafase gebied beslaan. Door erosie (afpellen) kan worden bepaald of de metafase groot genoeg is en of deze uit kleine objectjes bestaat. De metafase selectie met het



a): Geselecteerde metafasen na dilatie-erosie.



b): Het na de selectie gevonden masker voor het metafase gebied.

Fig. 3.: Metafaselectie met het Leytas systeem (J. Vrolijk, RU Leiden).

Leytas-systeem is geïllustreerd in figuur 3.
Het Quantimet systeem vindt ook door dilatie het metafase gebied, maar telt daarna het aantal objectjes binnen dit gebied. Scantijden liggen met deze systemen tussen de 15 en 40 minuten per preparaat.

Continue systemen hebben het voordeel, dat deze in principe van een sneller systeem gebruik maken. Continue systemen zijn ontwikkeld door Le Go (Le Go 1974) en Green (Green et.al. 1977). Het systeem van Le Go zoekt gebieden die een geschikte textuur bezitten en in het juiste densiteitsgebied vallen. Dat van Green berust op een clustering van object eindpunten. Scantijden liggen voor continue systemen rond de 10 minuten.

Resultaten die met metafase selectie systemen kunnen worden behaald liggen rond de 30% gemiste metafasen en 50% onterecht gevonden metafasen (Piper et.al. 1980). Onderzoek naar maten voor de kwaliteit van de gevonden metafasen staat volop in de belangstelling.

BEPALING VAN CHROMOSOOMKENMERKEN

Het scannen van metafasebeelden vindt meestal plaats met een resolutie van ongeveer 1/8 μ. Dit betekent dat een metafasebeeld door ruwweg 500 x 500 pixels (picture elements) wordt gegeven. Het preparaat kan direkt vanaf de microscoop worden gescand of met behulp van een fotografische tussenstap.

Allereerst dient het metafasebeeld te worden gesegmenteerd in chromosomen en achtergrond. Hiervoor wordt een drempelingsmethode toegepast. Uit het histogram van de in het beeld voorkomende grijswaarden wordt een grijswaarde drempel bepaald, die de donkere chromosomen van de lichte achtergrond onderscheidt. Deze globale drempel kan eventueel locaal worden aangepast.

In een metafase komen gemiddeld zo'n 2 tot 5 rakende of overlappende chromosomen voor. Rakende chromosomen kunnen interactief met behulp van een lichtpen of een joystick worden gescheiden. Ook zijn er diverse algorithmen ontwikkeld, die met redelijk succes rakende chromosomen kunnen scheiden (Vanderheydt 1980).

Na de segmentatie moeten voor de verschillende chromosomen de kenmerken worden bepaald, die voor de klassificatie zullen worden gebruikt. Deze bestaan voor bandengekleurde chromosomen uit globale kenmerken zoals lengte, oppervlakte en centromeer index en uit de bandkenmerken.

symmetrie as

Voor de bepaling van chromosoom lengte en bandenprofiel is de symmetrie as van het chromosoom nodig. Als het chromosoom voldoende recht is kan als symmetrie as de traagheidsas worden genomen, die uit de 2e orde momenten van de grijswaarde verdeling van het chromosoom wordt berekend. Door de absolute waarde van de verschillen in grijswaarde aan beide zijden van de traagheidsas te sommeren wordt een symmetrie-maat verkregen. Voldoet deze symmetrie-maat niet aan de gestelde criteria doordat het chromosoom te sterk gekromd is, dan kan bijvoorbeeld een 2e graads kromme als symmetrie-as aan het chromosoom worden "gefit" (Ledley 1972). De lengte van het chromosoom wordt uit de eindpunten ervan langs deze symmetrie-as berekend.

Door sommatie van de grijswaarden loodrecht op de al dan niet rechte symmetrie-as ontstaat het grijswaarde profiel (Groen et.al. 1976). Dit is geïllustreerd in figuur 4.

(figuur 5b) waaruit via de 1e afgeleide van het profiel de centromeer positie kan worden bepaald. Bij bandengekleurde chromosomen levert deze techniek problemen op aangezien het centromeer dan moet worden onderscheiden van andere minima die uit het bandenpatroon resulteren. Deze methode is wel toepasbaar door in plaats van het grijswaarde profiel het breedte profiel te gebruiken. Het breedte profiel wordt verkregen door de chromosoom breedte langs de symmetrie-as uit te zetten.

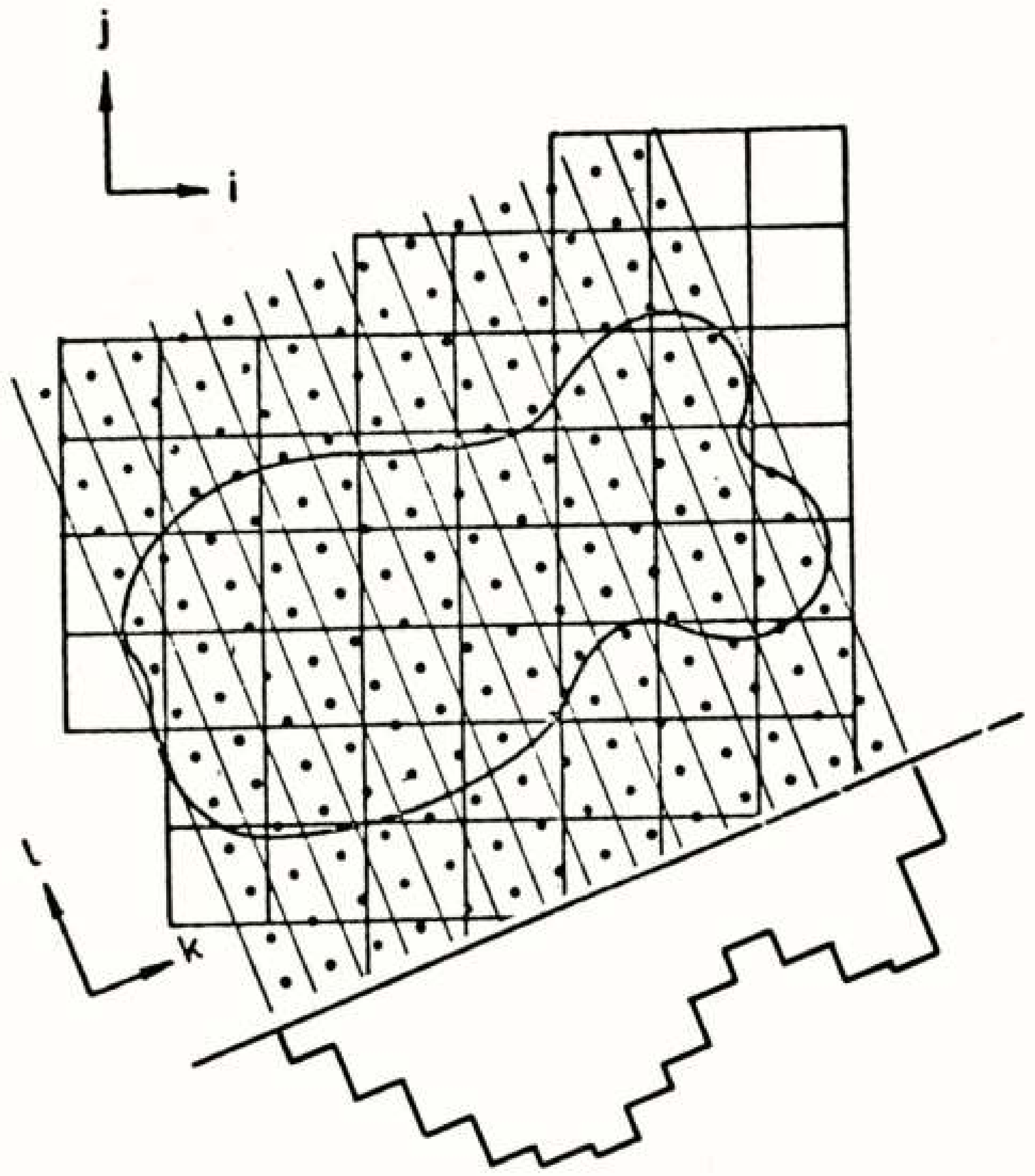


Fig. 4: Bepaling van het chromosoomprofiel door sommatie.

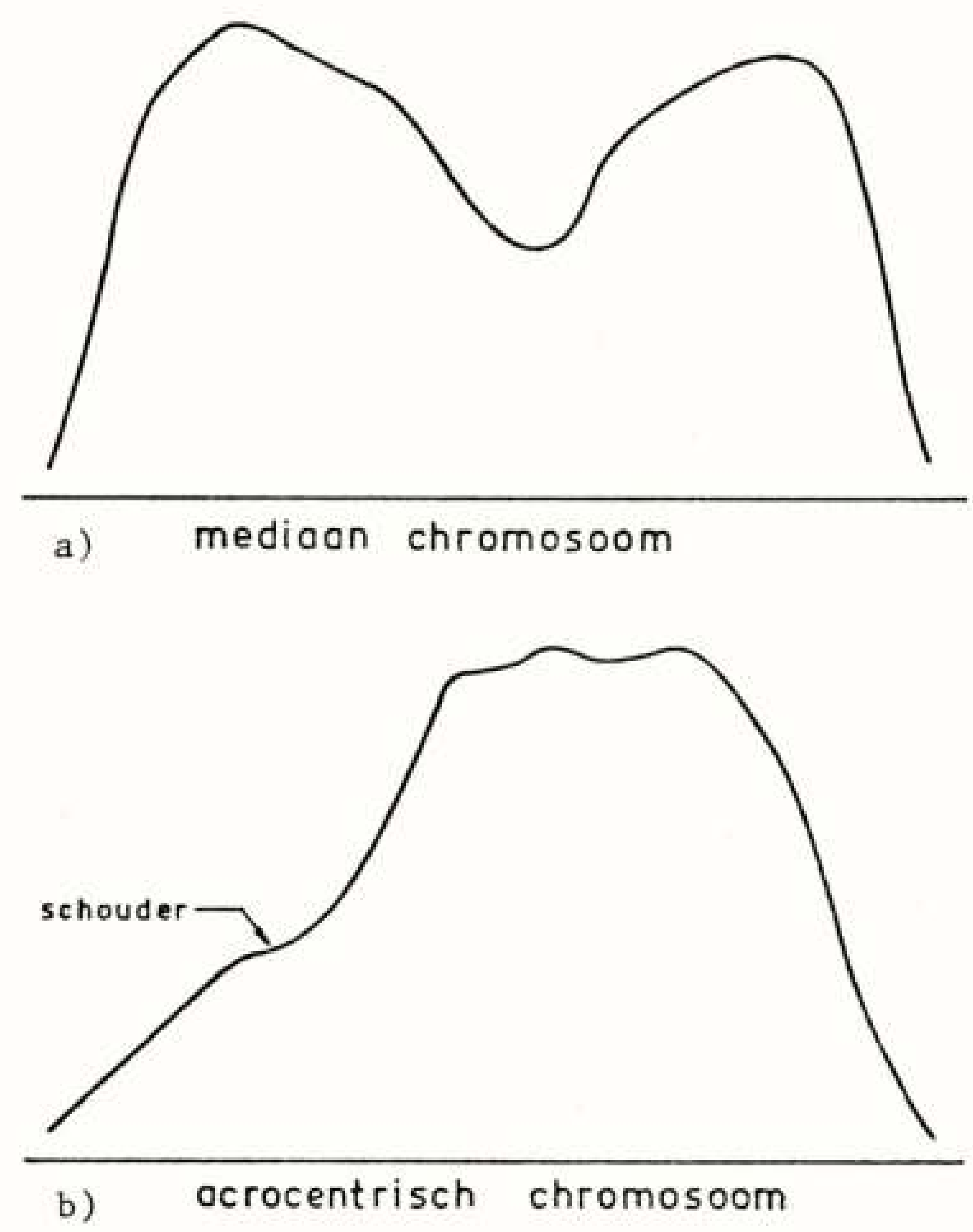


Fig. 5: Chromosoom profielen bij homogene kleuringen (genormeerd op een vast aantal punten).

Lengte en oppervlak

Het oppervlak van een chromosoom laat zich eenvoudig uit het aantal chromosoom pixels berekenen. Chromosoomlengte is in het algemeen een iets betere parameter dan oppervlak, omdat de lengte minder gevoelig is voor de segmentatie drempel. Doordat de chromosomen tijdens het metafase stadium kontraheren, kan de kontraktiegraad van metafase tot metafase sterk variëren, zodat lengte en oppervlak per metafase dienen te worden genormeerd. Aangezien o.a. chromosomen in een metafase kunnen ontbreken (door bijv. overlap) is deze normalisatie zeker niet triviaal (Hilditch et.al. 1972, Moore 1975).

Centromeer index

Het centromeer wordt gekenmerkt door een insnoering van het chromosoom. Bij acrocentrische chromosomen ligt het centromeer aan één van de uiteinden van het chromosoom. Bij meta-centrische en sub-metacentrische chromosomen ligt het centromeer in het middeldeel. De centromeer positie wordt uitgedrukt in de centromeer index, dat is de kortste afstand van het centromeer tot een uiteinde van het chromosoom gedeeld door de chromosoomlengte.

Er zijn verschillende methoden om de centromeer positie te bepalen. Deze kunnen ook gecombineerd kunnen worden om een betrouwbaarder waarde te verkrijgen (Piper 1981). Bij het gebruik van homogene kleuringen uit het centromeer zich in het profiel door een minimum (zie figuur 5a) bij metacentrische en submetacentrische chromosomen. Acrocentrische chromosomen leveren een schouder

Andere methoden berusten meer op de topologie van het chromosoom. Aan de hand van de contour, kan de centromeer insnoering worden bepaald uit de kromming (Gallus et.al. 1970) of door naar de kortste oversteek van de ene naar de andere zijde van de contour te zoeken. Ook kan de convex omhullende van het chromosoom worden bepaald en hieruit de grootste insnoering van het chromosoom (Rutovitz et.al. 1978).

De centromeerpositie is van essentieel belang omdat deze ook de orientatie van het chromosoom bepaalt. De correctie van foutief bepaalde centromeer indices is dan ook vaak het tweede interactie stadium in een herkennend systeem.

Bandkenmerken

De eenvoudigste methode om bandkenmerken te vinden is uit te gaan van het profiel. Hierin komen de banden als maxima naar voren. Op grond van het bandenprofiel kunnen twee typen parameters worden onderscheiden.

a) globale kenmerken, die via een transformatie van het bandenprofiel worden verkregen. Voorbeelden hiervan

zijn fourier coëfficiënten, ontbinding in eigenfuncties (Karhunen - Loève tranformatie) (Li et.al. 1972) en WDD coëfficiënten. Deze WDD coëfficiënten worden door integratie van het profiel met weegfuncties verkregen. De weegfuncties bestaan uit driehoeken waarin ook de centromeerpositie een rol speelt (Granum 1981).

b) locale bandkenmerken voor elke band die in het profiel voorkomt. De banden kunnen worden gevonden door ontbinding van het profiel in gausscurven (Granlund 1973), waarbij de kenmerken dan de parameters van de gausscurven zijn. Problemen doen zich hierbij met name voor, doordat de ontbinding niet tot een unieke oplossing hoeft te leiden.

Een andere aanpak is door Granum (Lundsteen et.al. 1981a) gegeven, waarbij de banden worden gerepresenteerd door bandovergangsreeksen, die een code vormen voor de hoogte van een band, het grijswaarde verschil met het volgende dal en de plaats van de band.

Het voordeel van de globale kenmerken is dat ze tot een vast aantal kenmerken voor ieder chromosoom aanleiding geven. Dit maakt ze makkelijk bruikbaar voor statistische classificatie methoden. Het nadeel van globale kenmerken is dat ze niet gerelateerd zijn aan locale afwijkingen in het bandenpatroon, waardoor ze niet erg geschikt zijn om dergelijke afwijkingen te bepalen.

De locale kenmerken, daarentegen sluiten veel meer aan bij de ervaringen van de cytoloog en afwijkingen komen veel direkter naar voren. Het nadeel is dat het aantal locale kenmerken varieert voor elk chromosoom, wat consequenties heeft voor de toe te passen klassificatiemethode.

Problemen ontstaan bij het gebruik van het bandenprofiel doordat banden kunnen worden uitgemiddeld door de sommatie loodrecht op de symmetrie-as. Dit is in figuur 6 geïllustreerd. Een meer gecompliceerde aanpak bestaat uit de bepaling van de banden uit het 2-dimensionale beeld. Dit kan bijvoorbeeld door filtering van het beeld, waarbij voor ieder chromosoom pixel de 2e afgeleide in de (locale) lengterichting van het beeld wordt

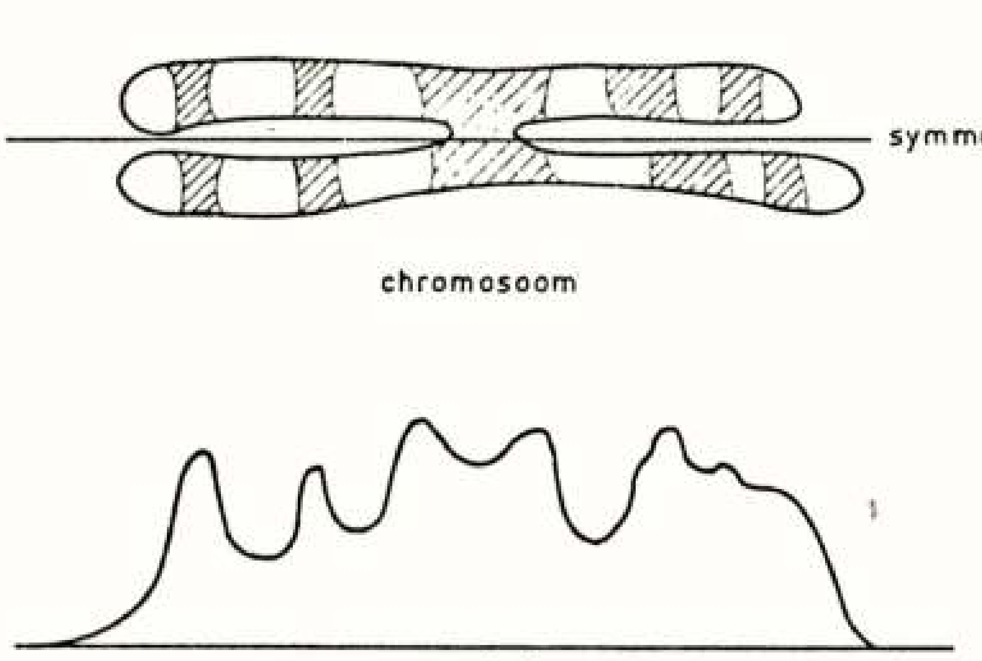


Fig. 6: Uitmiddeling van de banden door verschillen in kontractie van de chromatiden.

bepaald (Visser 1980). De banden die een donker dal vormen in het grijswaarde gebergte, worden dan positief. Door de verbonden positieve delen in het beeld te bepalen, worden de banden gevonden, die door hun grijswaarde en positie worden gekenmerkt, zie fig. 7.

Ook boomstructuren kunnen worden gebruikt om de wijze te karakteriseren waarbij de banden in het 2-dimensionale chromosoom beeld met elkaar samenvloeien (Oosterlinck et.al. 1977).

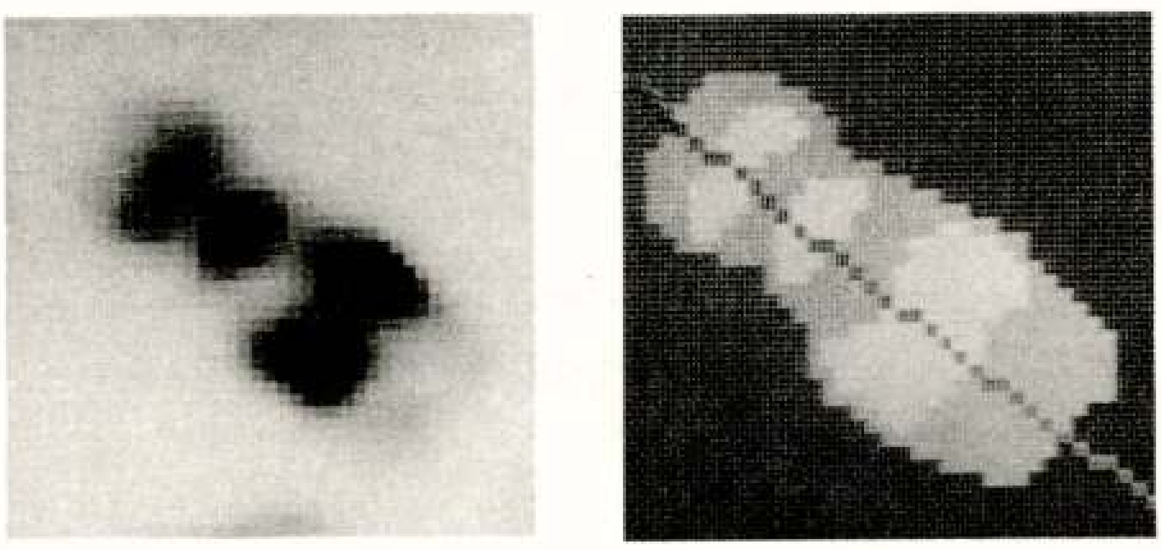


Fig. 7: Chromosoom type 12 en de gevonden banden met 2e afgeleide filtering (ook de gevonden symmetrie-as is aangegeven).

KLASSIFICATIE METHODEN

Het chromosoomprobleem stelt een aantal bijzondere voorwaarden aan de klassificatie.

i) Aangezien de mate van kontraktie kan verschillen van metafase tot metafase, dienen kenmerken zoals lengte en oppervlak per metafase genormeerd te worden en varieert het aantal banden bij een chromosoomtype. Het aantal kenmerken van één chromosoom kan hierdoor variëren.

ii) Kenmerken kunnen ontbreken, doordat bijvoorbeeld een centromeerpositie niet bepaald kon worden. Chromosomen kunnen in een metafase ontbreken (bijv. door overlap).

iii) Er kan bij het klassificeren gebruik gemaakt worden van het feit dat in elke normale metafse van elk autosoom twee exemplaren aanwezig zijn tesamen met twee geslachtschromosomen.

De klassificatie methoden, die bij chromosoom analyse worden toegepast vallen uiteen in twee typen: de statistische methoden en de methoden die berusten op de vage verzamelingenleer.

Statistische methoden bouwen uit de leerset de kennis over de klassen op. Het inbrengen van voorkennis van de cytoloog is bij statistische methoden moeilijk evenals het werken met varierende aantallen kenmerken. Het voordeel van methoden gebaseerd op vage verzamelingen is dat deze juist het inbrengen van voorkennis en varierende aantallen kenmerken eenvoudig mogelijk maken.

Het rekening houden met de context binnen één metafase, zoals het in duplo voorkomen van de verschillende

chromosoomtypen, kan met beide methoden worden gecombineerd.

Statistische methoden (Duda en Hart 1973)
Bij de statistische methoden wordt in de leerfase de kansdichtheid $f(\underline{x}|A_j)$ van een kenmerkvector $\underline{x}$ voor elke klasse A_j geschat. Dit kan met behulp van zowel parametrische als niet-parametrische methoden. Bij de parametrische methoden wordt verondersteld dat de kansdichtheid aan een bepaalde verdeling voldoet, zoals bijv. een normale verdeling (Granlund 1976). Uit de leerset worden dan de parameters van de verdeling geschat. Bij niet-parametrische methoden wordt de kansdichtheidsverdeling uit de leersamples opgebouwd (Habbema 1976).

Een onbekend chromosoom wordt volgens de Bayesregel ingedeeld in die klasse A_j, waarvoor de kans van optreden $p(A_j|x)$ gegeven de gemeten kenmerkvector maximaal is. Deze aposteriori kans kan uit de geschatte kansdichtheden $f(\underline{x}|A_j)$ worden bepaald volgens

$$p(A_j|\underline{x}) = \frac{p(A_j).\ f(\underline{x}|A_j)}{\sum_{i=1}^{k} p(A_i).\ f(\underline{x}|A_i)}$$

waarin k het aantal klassen is.

Hierbij is het ook mogelijk om het aantal chromosomen dat van elk type aanwezig is, in rekening te brengen (Habbema 1979). Alle chromosomen van een groep worden dan als geheel geklassificeerd, en niet onafhankelijk van elkaar. Bekijken we de vier chromosomen van de B-groep uit het Denver systeem die bestaat uit 2 chromosomen type 4 en 2 chromosomen type 5.
De vier chromosomen, die in deze groep worden geklassificeerd kunnen op 6 verschillende manieren over de typen 4 en 5 worden verdeeld. We nemen nu die combinatie, die gezamenlijk de grootste kans van optreden heeft. Zolang het aantal mogelijke combinaties beperkt is, is een dergelijke methode goed bruikbaar. Zouden we deze methode echter toepassen voor alle 46 chromosomen binnen een metafase om een verdeling over homologe paren te verkrijgen, dan is het aantal mogelijke combinaties zo groot, dat dit tot onaanvaardbare rekentijden aanleiding zou geven. Voor dit probleem zijn dan ook suboptimale verwisselingsalgorithmen ontwikkeld (Slot 1979, Rutovitz 1977). Bij de methode van Slot wordt uitgegaan van een initiele indeling met het juiste aantal chromosomen in elke klasse. Iteratief worden daarna chromosomen van verschillende klassen verwisseld, als deze verwisseling de gezamenlijke klassificatie-kans vergroot.

Vage verzamelingen methode. (Vanderheydt 1979b)
Het belangrijkste aspect van deze methode is wel dat de kennis van de cytoloog, over het meer of minder belangrijk zijn van bepaalde banden eenvoudig in de klassificatie kan worden ingebracht. Ook is het mogelijk de klassificatie via een boomstructuur te laten verlopen, waarbij in de diverse takken, verschillende kenmerken kunnen worden gebruikt, namelijk die kenmerken, die specifiek zijn voor het in die tak benodigde onderscheid.

De eerste stap wordt gevormd door een interactieve leerfase, waarbij de voorkennis van de cytoloog met statistische kennis wordt gecombineerd. De kennis over het belang van een band wordt ingebracht in een model voor elke chromosoomklasse, waarin alleen de voor het chromosoom karakteristieke banden (landmarks) zijn opgenomen (Visser 1981), of - met een weegfunctie - de belangrijkheid van alle banden is aangegeven (Vanderheydt 1979b). Op grond van de leer objecten worden nu de eigenschappen van de kenmerken van de banden uit het model vastgelegd, bijv. in een histogram. Hieruit kan een lidmaatschapswaarde worden berekend voor een gemeten band tot de model band.

Alle gevonden banden van een onbekend chromosoom worden vergeleken met de banden van een model. De hoogste lidmaatschapswaarde (best gelijkende band) wordt voor elke modelband bepaald. Varierende aantallen banden in het onbekende chromosoom doen minder ter zake, aangezien de best lijkende band op elke modelband wordt gezocht. Met behulp van rekenregels uit de vage verzamelingenleer worden de band lidmaatschapswaarden gecombineerd tot één lidmaatschapswaarde voor het chromosoommodel.

Van een onbekend chromosoom worden op grond van lengte en centromeerindex de chromosoom-modellen geselecteerd, waartoe het chromosoom zou kunnen behoren. Met deze modellen wordt het bandenpatroon vergeleken, en het chromosoom wordt toegekend aan dat model, waartoe het de grootste lidmaatschapswaarde heeft.

RESULTATEN EN CONCLUSIES

De klassificatie resultaten zijn sterk afhankelijk van de kwaliteit van de gebruikte preparaten en de interactie, die wordt toegestaan. Deze interactie kan in verschillende stadia plaatsvinden. Allereerst bij het scheiden van rakende chromosomen en het weglaten van overlappende chromosomen. Een tweede interactie kan plaatsvinden bij de correctie van foutieve centromeerbepalingen en tenslotte zullen bij een operationeel systeem de fouten van het systeem moeten worden gecorrigeerd. De goed-scoren die worden gerapporteerd liggen tussen de 65% (Vanderheydt 1979a) en 98% (Granum 1981). Een vergelijking van dergelijke gegevens en de gebruikte klassificatie-methoden is uiterst moeilijk, door de verschillen in materiaal en interactie, waarbij het duidelijk zal zijn dat naarmate de slectie van het materiaal strenger en de interactie groter is het resultaat beter zal zijn.

Met zekerheid is echter wel te zeggen dat de resultaten nog ver verwijderd zijn van een volledig automatisch systeem, zodat voorlopig een aanzienlijke interactie nodig zal blijven. Deze interactie vormt het grootste

probleem bij het economisch verantwoord toepassen van een geautomatiseerd karyotyperend systeem, aangezien de interactie een substantieel deel van de totale analysetijd kost. Ook de tijd en kosten van een conventionele analyse spelen hierin een belangrijke rol. De conventionele analysetijd verschilt tussen de diverse laboratoria, maar ligt tussen de 2 en 16 minuten (Piper 1980). Dit verschil wordt grotendeels veroorzaakt doordat sommige laboratoria altijd een karyogram maken, en andere alleen als er een afwijking wordt vermoed. Ten opzichte van de 16 minuten per cel lijkt een geautomatiseerd systeem verantwoord te zijn en wordt overwogen om een dergelijk systeem in te voeren (Lundsteen et.al. 1981b).

Een mogelijkheid om tot reductie van de interactie te komen is multi-cell analyse (Granlund 1978). Hierbij wordt getracht de uitkomsten van meerdere cellen te combineren om tot uitspraken te komen of er afwijkingen aanwezig zijn. Chromosomen waarvan geen zekere klassificatie uitspraak valt te doen, worden hierbij weggelaten, om geen interactie nodig te hebben. Problemen die zich hierbij voordoen is dat er aanzienlijk meer cellen geanalyseerd moeten worden en dat er een risico is dat afwijkingen worden gemist.

Naast klassificatie levert een kwantitatief karyotyperingssysteem ook kwantitatieve kenmerken van de chromosomen, waarmee na (eventueel) interactieve correctie van de klassificatie met statistische toetsen afwijkingen kunnen worden bepaald. Zo zijn er diverse toetsen ontwikkeld om afwijkingen tussen homologe chromosomen te vinden (Moore 1973 Granlund 1974) en kan ook de 'spreidings'breedte tussen normale homologen (per persoon, per familie) worden bepaald.

DANKWOORD

De auteur wil prof.dr. M. van der Ploeg (Histochemie en Cytochemie, RU Leiden) en ir. J. Vrolijk (Cytogenetica, RU Leiden) bedanken voor hun opmerkingen en stimulerende discussie.

LITERATUUR

Denver Conference (1960), "A proposed standard system of nomenclature of human mitotic chromosomes", Am. J. Hum. Gen. 12, pp 384.

Caspersson T., S. Farber, G.E. Foley, J., Kudynowski, E. J. Modest, E. Simonsson, U . Wagh, L. Zech (1968). Chemical differentiation along metaphase chromosomes. Exp. Cell. Res 49, pp 219-222

Duda R.O., P.E. Hart (1973). Pattern classification and scene analysis. New York, Wiley-Interscience.

Gallus G., P.W. Neurath (1970). Improved computer chromosome analysis incorporating pre-processing and boundary analysis. Phys. Med. Biol., 15, pp 435-445.

Granlund G.H. (1973), The use of distribution functions to describe integrated density profiles of human chromosomes. J. Theor. Biol., 40, pp 573-589.

Granlund G.H., (1974) Statistical analysis of chromosome characteristics, Pattern Recognition 6, pp 115-126.

Granlund, G.H. (1976). Identification of human chromosomes by using integrated density profiles. IEEE Trans. on Biom. Eng., BME-23, pp 182-192.

Granlund G.H. (1978), The structure of a system for multiple-cell chromosome karyotyping, Proc. 4th Int. Joint Conf. on Pattern Recognition, Kyoto, Japan, Nov. 7-10, pp 837-841.

Granum E., T. Gerdes, C. Lundsteen (1981). Simple Weighted Density Distributions, WDDs, for Discrimination between G - banded chromosomes. Proceedings of the IVth European Chromosome Analysis Workshop, Edinburgh, 25-27, March 1981.

Green D.K., R. Bayley, D. Rutovitz (1977). A cytogeneticist's microscope, Microscopia Acta, 79, pp 237-245.

Groen F.C.A., P.W. Verbeek, G.A. van Zee, A. Oosterlinck (1976). Some aspects concerning the computation of chromosome banding profiles. Proc. 3rd Int. Joint Conf. on Pattern Recognition, Coronado, pp 547-550.

Habbema J.D.F. (1976). A discriminant analysis approach to the identification of human chromosomes. Biometrics 32, pp 919-928.

Habbema J.D.F. (1979). Statistical Methods for Classification of Human Chromosomes. Biometrics 35, pp 103-118.

Hamerton J.L. (1973). Chromosome band nomenclature. In: Chromosome identification (T. Caspersson and L. Zech, ed.). New York, Academic Press, pp 90-96.

Hilditch C.J., D. Rutovitz (1972). Normalization of chromosome measurements, Comput. Biol. Med. 2, pp 167-179.

Ledley R.S., (1972). Analysis of cells. IEEE Trans. on Computers 21, pp 740-753.

Le Go R. (1974). Automatic selection of 'good' metaphases by machine. Medinfo 74, North-Holland, Amsterdam, pp 865-867.

Li C.C., D.W. Tsao, F.K. Sun (1972). Chromosome Classification based on optical density profiles. IEEE Conference on Decision & Control and 11th Symposium on Adaptive Processes, pp 600.

Lundsteen C., T. Gerdes, J. Philip, K. Philip (1981a). Automatic chromosome analysis II. Karyotyping of banded

human chromosomes using band transition sequences. Clin. Genet. 19, pp 26-36.

Lundsteen C., U. Christiansen, T. Gerdes, J. Philip, K. Philip (1981b). An automated karyotyping system. Proceedings of the IVth European Chromosome Analysis Workshop, Edinburgh, 25-27 March 1981.

Moore II. D.H., (1973). Do homologous chromosomes differ? Cytogenetics and Cell genetics 12, pp 305-314.

Moore II. D.H. (1975). Normalization of chromosome measurements: a new method. Comput. Biol. Med. 5, pp 21-28.

Oosterlinck A., J. van Daele, F. Dom, A. Reynaerts, H. van den Berghe (1977). Computer aided karyotyping of human chromosomes. Proc. IEEE Conf. on Pattern Recognition and Image Processing, Troy, N.Y. pp 61-69.

Piper J., E. Granum, D. Rutovitz, H. Ruttledge, (1980). Automation of chromosome analysis. Signal Processing 2, pp 203-221.

Piper J., (1981). Finding chromosome centromeres using boundary and density information. NATO ASI series. Digital Image Processing and Analysis 1980. (eds. Simon and (Haralick) in press.

Rutovitz D. (1977). Chromosome classification and segmentation as exercises in knowing what to expect, E.W. Elcock and D. Mitchie, eds. Machine Intelligence, 8, Ellis Harwood, London, pp 455-472.

Rutovitz D., D.K. Green, A.S.J. Farrow, D.C. Mason, (1978). Computer-Assisted measurement in the cytogenetics Laboratory, in: B.G. Batchelor, ed., Pattern Recognition, Plenum. London, pp 303-329.

Slot R.E., (1979). On the profit of taking into account the known number of objects per class in classification methods. IEEE. Trans. on Inf. Theory, IT-25, pp 484-488.

Van Daele J., L. De Buysscher, F. Dom, A. Oosterlinck, H. van den Berghe (1979). Selecteur automatique de metaphases de chromosomes humain. Proc. 2eme Congres AFCET/IRIA Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle, Toulouse, France, Sept. 12-14, 1979, vol. 3, pp 17-25.

Vanderheydt L., A. Oosterlinck, H. van den Berghe (1979a) Design of a special interpreter for the classification of human chromosomes. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-1, pp 214-219.

Vanderheydt L., A. Oosterlinck, H. van den Berghe (1979b) An application of fuzzy subset theory to the classification of human chromosomes. Proc. IEEE Conf. on Pattern Recognition and Image Processing, Chicago, IL. August 6-8, 1979, pp 466-472.

Vanderheydt L, A. Oosterlinck, H. van den Berghe (1980). Decomposition of touching chromosomes using fuzzy subset theory. Proc. of 1st Scan. Conf. on Image Analysis. Linköping, Sweden, 14-16 Jan. 1980, pp 348-354.

Visser R.T. (1980). Bandgekleurde chromosomen: hun visuele herkenning en een eerste aanzet tot automatisch herkennen. Kandidaatsverslag. Afdeling der Technische Natuurkunde Delft.

Visser R.T. (1981). Classificatie van bandgekleurde chromosomen met gebruik van cytologische voorkennis. Afstudeerverslag, Afdeling der Technische Natuurkunde Delft.

Vrolijk J., H. ten Brinke, J.S. Ploem, P. Pearson, (1980) Video techniques applied to chromosome analysis Microscopia Acta, Supplement 4.

Voordracht gehouden op 9 april 1981 in het PTT vergadercentrum te Utrecht op een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (nr.296), de Sectie Telecommunicatietechniek KIvI, en de Benelux Sectie IEEE.

DE MÜNCHNER KREIS

"Wenn man auf die öffentliche Diskussion der letzten Wochen zurückblickt, hat es den Anschein, als ob die Kommunikationsdiskussion allmählich an einem neuen Punkt angekommen ist. Sie ist bei manchen immer noch verbunden mit der visionären Vorstellung des Übertritts in ein Schlaraffenland technisch vermittelter Kommunikation. Die Schlagworte heissen dabei: Kabelfernsehen, Satellitenfernsehen, Pay-TV, Bildtelefon, Breitbanddialog, interaktiver Rückkanal, elektronische Redaktion, Faksimilezeitung, Videotext oder Bildschirmtext.

Inzwischen treten aber die wirklichen Fragen immer stärker ins Bewusstsein. Eine wachsende Zahl von Menschen fragt sich selbst und die anderen: Was steht eigentlich hinter diesen Begriffen? Was kommt da auf mich zu? Wer entscheidet über diese Entwicklungen? Was muss ich dafür an Geld und sozialen Kosten bezahlen? Aber auch: Wie beeinflusst dies alles meine Familie, meine Arbeit, meine Freizeit, mein weiteres Leben? Und nicht zuletzt: Kann ich bei den Entscheidungen, die zu diesen Entwicklungen führen, mitreden oder sogar mitbestimmen?"

Aldus begint de heer V. Hauff, Bundesminister für Forschung und Technologie zijn bijdrage aan het symposium "Telekommunikation für den Menshen", georganiseerd door de Münchner Kreis in oktober 1979 te München.

De Münchner Kreis werd in 1974 opgericht op initiatief van personen uit de sfeer van de wetenschap, de politiek, het bedrijfsleven, uit de omroepwereld en andere media. De vereniging stelt zich ten doel de bevordering van het wetenschappelijk onderzoek naar alle kwesties die samenhangen met de introductie van nieuwe communicatiesystemen. Met name ligt het in de doelstellingen van de Kreis besloten de optredende menselijke, economische en politieke problemen te behandelen, die zich bij de bovengenoemde introductie van communicatiesystemen kunnen voordoen. Het is duidelijk dat dit een interdisciplinaire aanpak vereist.

Het lijkt mij ook voor de Nederlandse telecommunicatie-ingenieur van belang kennis te nemen van de activiteiten van deze groepering. Als belangrijkste middel ter bereiking van de doelstellingen worden symposia georganiseerd. Deze symposia onderscheiden zich daardoor van de gebruikelijke technische symposia, dat ook sprekers van buiten de directe technische sfeer bijdragen leveren. Het eerste symposium was gewijd aan "Two-way cable television" en werd gehouden in 1977. In 1978 gevolgd door een symposium over "Elektronische Textkommunikation", terwijl het thema "Telekommunikation für den Menschen" onderwerp was van het 1979-symposium. In 1980 heeft men aandacht besteed aan het onderwerp "Telekommunikation für Bildung und Ausbildung" en aan het thema "Kommunikation über Satelliten". Het valt op dat de organisatoren van deze symposia in het algemeen kans zien een rijk geschakeerde groep van sprekers naar München te halen.

Uiteraard is het in het kader van deze bijdrage niet mogelijk een uitgebreide bespreking van alle symposia hier te geven. Teneinde de lezer echter een indruk te geven van het gebodene zal hier een vrij willekeurige greep gedaan worden uit de veelheid van onderwerpen. De persoonlijke belangstelling van de schrijver van deze bijdrage zal daarbij onvermijdelijk een rol spelen.

Het symposiumverslag "Two-cable television" heeft als ondertitel "Experiences with pilot projects in North-America, Japan and Europe" en geeft een overzicht over een groot aantal projecten.

Een korte beschrijving van een aantal van deze projecten kan het beste gebeuren aan de hand van een bijdrage die de werkzaamheden van de "Kommission für den Ausbau des technischen Kommunikationssystems in der Bundesrepublik Deutschland (KtK)" beschrijft. Deze door de Duitse regering ingestelde commissie heeft een aantal conclusies en aanbevelingen geformuleerd met betrekking tot nieuwe telecommunicatie diensten. De commissie hanteert de volgende onderverdeling: bestaande vormen van telecommunicatie, nieuwe vormen van telecommunicatie in bestaande netten, telecommunicatie in breedbandige netten en tenslotte geschakelde breedbandige netten.

Het eerste onderwerp biedt natuurlijk niet veel nieuws, terwijl bij het tweede onderwerp o.a. videotekst en view data aan de orde zijn. Kabeltelevisie met een groot aantal kanalen komt dan bij het derde punt aan de orde. De commissie becijfert dat bekabeling van geheel West-Duitsland in de orde van grootte van 23 miljard DM kost. Zoals wellicht bekend heeft men in West-Duitsland besloten eerst op beperkte schaal te experimenteren met CATV. Voor de aanleg van geschakelde breedbandige netten moet volgens de KtK voor West-Duitsland gerekend worden op een investering van de orde van grootte van 200 miljard DM. Over deze toepassing valt pas te denken -al weer volgens de KtK- in de niet-nabije toekomst, nadat eerst technologische vooruitgang geboekt is, met name met betrekking tot de optische communicatie.

Van de andere artikelen zij hier de aandacht gevestigd op een USA-bijdrage waarin geschetst wordt hoe men een 4-fase model voor een systematische planning voor de ontwikkeling van een two-way CATV kan opzetten, waarbij voortschrijdend in de tijd het net uitgebreid en aangepast kan worden. Het volgende artikel beschrijft een onderwijsexperiment met CATV met een retourkanaal, waarbij echter de conclusie getrokken wordt dat het "two-way" in het systeem wellicht wat te veel van het goede is.

Zoals te verwachten was stonden ook een aantal Japanse projecten ter discussie. Een van de besproken projecten is georganiseerd in een voorstad van Tokyo, Tama. In deze voorstad zijn circa 500 huishoudens betrokken bij dit project en via de kabel verbonden met een centrale studio. Men kan enige gewone TV-programma's ontvangen. Verder is pay-TV mogelijk. Ook wordt geëxperimenteerd met de ontvangst van een krant, die vanuit een naburige stad wordt overgezonden. Het duurt ongeveer 4½ min. om een pagina uit de krant op het scherm te ontvangen. Tenslotte kan men nog "flash" informatie bekijken: algemeen nieuws, sport nieuws, weerberichten, lokaal nieuws. Interactief kan het systeem gebruikt voor de studie van de Engelse taal en rekenen. Het schijnt dat men begint in te zien dat dit systeem niet alleen TV-programma's doorgeeft maar dat men de beschikking heeft over een systeem waarin men actief kan participeren. Een tweede Japans project is het OVIS-project. OVIS staat voor Optical Visual Information System. In dit geval gaat het om optische informatie-overdracht in een two-way systeem. Circa 300 huishoudens participeren in dit project.

Tenslotte moet hier nog genoemd worden een overzicht over CATV in België en een Delftse bijdrage over gecombineerd gebruik van CATV en telefonie-netten voor educatieve en consultatieve doeleinden.

Het laatste artikel behandelt de juridische en politieke aspecten van kabeltelevisie en is enigszins toegesneden op de West-Duitse situatie.

In 1978 was het onderwerp van het symposium "Elektronische Textkommunikation". De eerste bijdrage beschrijft hoe men zich bij de Duitse Bundespost de introductie van "Bildschirmtext" en Videotext" in de komende jaren voorstelt. In een groot aantal bijdragen worden technische aspecten van mogelijk toekomstige of reeds bestaande systemen van tekst-communicatie behandeld. Met name dient hierbij ook gewezen te worden op de toepassingen in de dagblad- en tijdschriften industrie. Enige artikelen gaan over office-communication. In het bijzonder de beschrijving van het beleid van het Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) met betrekking tot dit aspect van tekst-communicatie is belangwekkend.

Nadat de Münchner Kreis met de eerste twee symposia een exposé had gegeven van nieuwe ontwikkelingen op de twee zojuist geschetste gebieden heeft men in 1979 de aandacht gevestigd op de individuele en maatschappelijke consequenties van de telecommunicatie voor de toekomst. Naar mijn mening is men juist bij dit onderwerp er in geslaagd vorm te geven aan de doelstellingen van de Kreis. In het bijzonder zij hier opgemerkt dat men zich voorstelt innovatie in de telecommunicatie tijdig en in alle openheid te bediscussiëren opdat men achteraf niet terecht komt in dezelfde misère die we nu met de energiepolitiek hebben.

De eerste bijdrage van dit symposium is van de minister voor wetenschapsbeleid en technologie. Het eerste stukje van zijn bijdrage werd reeds als citaat aan het begin van dit artikel aangehaald. Het einde van dit referaat luidt als volgt:

"Lassen Sie mich kurz zusammenfassen.

1. Wir brauchen eine wesentlich intensivere Diskussion zu Fragen der Zukunft unseres Kommunikationssystems. Wir brauchen vor allem eine offene Diskussion.
2. Nicht alles, was heute technisch machbar ist, muss unbedingt gesellschaftlich wünschbar sein.
3. Die publizistische Gewaltenteilung von Presse und Rundfunk hat sich bewährt und muss erhalten bleiben.
4. Neue Medien können die demokratischen Strukturen grundlegend ändern und Gefahren für das soziale Zusammenleben bewirken. Wir müssen daher neben den wirtschaftlichen Interessen die Wirkung auf den Menschen, die Gesellschaft und die Umwelt mit berücksichtigen.
5. Wir brauchen eine verstärkte Anstrengung im Bereich der Medienwirkungsforschung.

"Uber diese fünf Punkte müssen wir uns verständigen. Dazu brauchen wir den breiten Dialog, der die Öffentlichkeit nicht scheut. Einen Dialog, in dem die Bürger und ihre Interessen nicht vor der Tür bleiben, wenn sich die Mächtigen verständigen. Information und Kommunikation werden im Guten wie im Schlechten die Welt von morgen prägen, dessen sollten wir uns alle bewusst sein".

Een aanzet tot de zojuist geciteerde dialoog vindt men dan verder in de bijdragen van de diverse auteurs. In het eerste deel van het symposium wordt gesproken over de eisen die de mens aan systemen en apparaten stelt; ergonomische kwesties dus. In het tweede deel gaat het dan om het individuele gebruik van met name nieuwe telecommunicatiesystemen. Daarbij gaat het naast de beschrijving van enige systemen vooral om marktanalyses en om het zogenoemde acceptatieprobleem. De aandacht valt daarbij o.a. op sociologische studies in samenhang met het OVIS-experiment en het Tama-project. Verder bevat dit symposiumverslag een uitgebreide beschrijving van een onderzoek naar de vraag welke nieuwe diensten in de toekomst het meest gevraagd zullen worden en door welke bevolkingsgroepen.

In het laatste deel van het symposium was ruimte vrijgemaakt voor politici van CDU zowel als van SPD en FDP huize. In het bijzonder bespraken zij de relatie tussen nieuwe telecommunicatiesystemen en de maatschappij. Zoals te verwachten viel kwam hierbij o.a. de competentie van de staat en de monopoliepositie van de PTT ter sprake. Dit had niet alleen betrekking op toekomstige breedbandige communicatiesystemen maar ook op de kwestie van de eventuele commercialisering van de omroep. Tenslotte werd nog de visie van een vakbond op de sociale en menselijke aspecten van de invoering van nieuwe systemen gegeven. Hierbij kwam natuurlijk ook het pro-

bleem van de werkgelegenheid in beeld. De laatste bijdrage handelde over "Zur Geschichte der Innovationsängste". De titel behoeft geen nadere toelichting.

Vorig jaar juni werd een symposium gehouden met als thema "Telekommunikation für Bildung und Ausbildung". Dit symposium kan worden gekenmerkt als een poging tot evaluatie van de hedendaagse mogelijkheden die telecommunicatie en computerfaciliteiten bieden in het onderwijs.

Na de euforie in de zestiger jaren met betrekking tot de introductie van de computer en andere hulpmiddelen in het onderwijs achtten de organisatoren van dit symposium de tijd gekomen voor een nuchtere heroverweging van de gehele materie. Het symposium opent met twee overzichtsartikelen: een pro, het andere contra. Vervolgens volgen zes voordrachten en een interessante discussie, die eveneens in druk is verschenen. Het geheel is van tamelijk bescheiden opzet.

In oktober 1980 werd door de "Kreis" aandacht geschonken aan het onderwerp "Kommunikation über Satelliten". Op de eerste dag waren er o.a. bijdragen die handelden over de volgende aspecten: het technisch gebruik van satellieten en hun begrenzingen, omroepsatellieten, Canadese telecommunicatiesystemen, toekomstige communicatie satellieten in Europa (ESA), etc.

De tweede dag was gewijd aan juridische en politieke aspecten die samenhangen met deze jongste tak van de communicatietechniek. Met name de bijdrage van een vertegenwoordiger van het BMFT, die het Duits-Franse omroepsatellietproject besprak, bevat interessante informatie. De schrijver van dit artikel kan het niet nalaten een tweetal aspecten van het BMFT-betoog hier nader te bespreken. De eerste kwestie heeft betrekking op de vraag waarom nu een operationele omroepsatelliet gebouwd moet worden. Het antwoord is dat reeds jaren overheidsmiddelen aan de industrie ter beschikking zijn gesteld en dat nu "Der Zeitpunkt gekommen ist, an dem sie beweisen muss was sie gelernt hat".

De tweede kwestie heeft betrekking op de vraag waarom Frankrijk en Duitsland de bilaterale weg bewandelen en niet aan een multinationale Europese satelliet (L-sat) willen meewerken. Het antwoord is (enigszins bekort) als volgt. "Im Zuge der vorbereitenden Diskussionen entwickelte sich die Idee eines einfachen, billigen und rasch zu verwirklichenden Satellitenexperiments durch die Überfrachtung mit immer neuen wünschenswerten Eigenschaften zu einem komplizierten, kostspieligen Zeit beanspruchenden Monstrum".

Door de Generalintendant van de Oostenrijkse omroep werd een kritisch, maar ook amusant, betoog gehouden over de omroep via satellieten. Een van zijn adviezen luidt als volgt: "Die europäischen Staaten sollen der Satellitenherausforderung offensiv begegnen, selbst erstklassige Satellitenprogramme machen - wozu ZDF und ARD sicherlich imstande sind - und nicht das Heil in der Luftabwehr suchen".

Samenvattend kan vastgesteld worden dat de jaarlijkse symposia van de Münchner Kreis goede overzichten geven van bepaalde deelgebieden van de telecommunicatie. Hierbij gaat het met name ook om de relatie telecommunicatie-maatschappij. Voor de technische details van de besproken systemen dient men echter meestal elders te rade te gaan.

Referenties

(1) TWO-WAY CABLE TELEVISION: Experiences with Pilot Projects in North America, Japan and Europe. Proc. of a Symp., München, 27-29 April 1977. Ed. by W. Kaiser et al. Berlin: Springer, 1977.
Münchner Kreis
ISBN 3-540-08498-3 DM 44,--

(2) ELEKTRONISCHE TEXTKOMMUNIKATION. Vorträge eines Symp. München, 12-15 Juni 1978. Herausgeber W. Kaiser. Berlin: Springer, 1978.
Münchner Kreis
ISBN 3-540-09060-6 DM 74,--

(3) TELEKOMMUNIKATION FÜR DEN MENSCHEN: Individuelle und gesellschaftliche Wirkungen. Vorträge des Kongresses München, 29-31 Oktober 1979. Herausgeber E. Witte. Berlin: Springer, 1980.
Münchner Kreis
ISBN 3-540-10036-9 DM 58,--

(4) TELEKOMMUNIKATION FÜR BILDUNG UND AUSBILDUNG. Vorträge des Kongresses, München, 11-12 Juni 1980. Herausgeber K.H. Vöge. Berlin: Springer, 1981.
Münchner Kreis
ISBN 3-540-10645-6 DM 30,--

(5) KOMMUNIKATION ÜBER SATELLITEN. Vorträge des Kongresses, München, 23-24 Oktober 1980. Berlin: Springer (in voorbereiding).
Telecommunications: Veröffentlichungen des "Münchner Kreises", Band 6.

Na de tot standkoming van dit artikeltje werd de schrijver nog opmerkzaam gemaakt op de volgende uitgave:

(6) NEUE FORMEN DER DATENKOMMUNIKATION. Vorträge des Kongresses, München, 1-2 Juli 1980. Herausgeber G. Seegmüller. Berlin: Springer, 1981.
Telecommunications: Veröffentlichungen des Münchner Kreises", Band 5.
ISBN 3-540-10736-3 DM 43,--

M. Jeuken

VAN HET BESTUUR

Prof.dr.ir. J.J. Geluk erelid

Op de algemene vergadering van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap, gehouden op 9 april jl. te Utrecht, is prof.dr.ir. J.J. Geluk benoemd tot erelid van het Genootschap.

De overwegingen, die aan deze benoeming ten grondslag hebben gelegen luiden als volgt:
Prof. Geluk heeft belangrijke verdiensten door zijn werk op het gebied van de akoestiek en de radio-omroep. Hij verwierf internationale bekendheid als expert op het gebied van de stereofonie, voor de invoering waarvan hij als promotor is opgetreden.
Door zijn vele leidende functies binnen het Comité Consultatief International des Radiocommunications en de Europese Omroepunie heeft hij veel bijgedragen tot de ontwikkeling en de toepassing van het vakgebied van de telecommunicatie.

WERKVERGADERINGEN IN HET NAJAAR 1981

Voor het najaar 1981 zijn de volgende werkvergaderingen gepland:

1. eind augustus/begin september
   Elektronische filters (IEEE).
2. 29 september
   Computer-instrumentatie. Werkvergadering wordt georganiseerd in combinatie met het Instrument, RAI Amsterdam (NERG).
3. begin oktober
   Digitale lokale netten (NERG).
4. 22 oktober
   Symposium 100 jaar telefonie (KIVI).
5. 12 november
   Elektronica in lucht- en ruimtevaart (NERG).
   Nationaal Lucht- en ruimtevaart Lab. N.O. Polder.
6. midden december
   URSI-programma (NERG). Tijdens deze vergadering zullen diverse sprekers ons inlichten over de resultaten van de 20ste General Assembly van de URSI.

Toelichting

ad 4. Op 22 oktober a.s. zal in het congrescentrum RAI te Amsterdam een symposium worden georganiseerd door PTT en de Sectie Telecommunicatietechniek van het KIVI naar aanleiding van het 100-jarig bestaan van de openbare telefonie in Nederland.

Op het programma staan de volgende lezingen:

dr. P.H. Kylstra	- Van drukknop tot drukknop
ir. A.G.C. van Bruggen	- De mens en de telefoon, nu en straks
ir. J.F. Brouwer	- De evolutie van de telefoontechniek
ir. C. de Jong	- De revolutie van de diensten?

Daarna wordt in een forum van de sprekers antwoord gegeven op binnengekomen vragen. Vervolgens zal voor de eerste keer de uitreiking plaatsvinden van de door de Sectie Telecommunicatietechniek van het KIVI ingestelde Prof. Bählerprijs voor het beste afstudeerwerk op het gebied van de telecommunicatie aan een Nederlandse TH in het afgelopen jaar, alsmede de Prof. Bählerprijs voor de beste dissertatie op dit gebied in Nederland gedurende de laatste vijf jaar.
De considerans zal daarbij worden uitgesproken door Prof.ir. J.L. de Kroes, lid van het bestuur van de Sectie voor Telecommunicatietechniek.
Het symposium wordt geleid door ir. A. Boesveld, voorzitter van de Sectie en afgesloten door ir. C. Wit, hoofddirecteur Telecommunicatie van de PTT.
De leden van het NERG zullen een persoonlijke uitnodiging voor deelname ontvangen.

ad 5. De werkvergadering van 12 november wordt gehouden in Vollenhove (Voorsterweg 31). Vollenhove valt buiten de kring van plaatsen waar meestal werkvergaderingen worden georganiseerd. Toch hoopt het bestuur op een goede opkomst. Teneinde U een beetje te helpen bij Uw besluitvorming ter zake volgt hieronder een korte omschrijving van het programma van die dag.

Wij hebben voor die dag een film (ter introductie van NLR) en 6 voordrachten. In de morgen valt het accent op de luchtvaart, in de middag op de ruimtevaart. Het programma ziet er als volgt uit:
Eerst zal een overzicht worden gegeven van de nieuwe generatie avionica systemen met daarbij een videodemonstratie die door de TH Delft zal worden verzorgd. Daarna de toepassing van digitale avionica voor remote sensing, tenslotte een experimenteel systeem voor de analyse van tipwervels (ontstaan bij opstijgen en landen van vliegtuigen).

NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP
(296ste werkvergadering)
SECTIE TELECOMMUNICATIETECHNIEK KIvI
IEEE BENELUX SECTIE

UITNODIGING

voor de lezingendag op **donderdag 9 april 1981** in het **PTT-vergadercentrum (Telefoondistrict Utrecht), Burg. Fockema Andreaelaan 15** te **Utrecht.**

Thema: Patroonherkenning.

PROGRAMMA

11.30 uur: Ontvangst en koffie.

12.00 uur: **DR. IR. E. BACKER**, (Afdeling Elektrotechniek, TH-Delft):
INLEIDING TOT DE PATROONHERKENNING.

12.45 uur: Lunch.

14.00 uur: **IR. J. J. GERBRANDS**, (afdeling Elektrotechniek, TH-Delft):
BEELDSEGMENTATIE ALS CLASSIFICATIEPROBLEEM.

14.30 uur: **IR. A. MEYER**, (Centrum Fabricage Technieken, Philips, Eindhoven):
AUTOMATISCHE VISUELE INSPECTIE IN DE ELEKTROTECHNISCHE INDUSTRIE.

15.00 uur: Theepauze.

15.30 uur: **DR. IR. F. C. A. GROEN**, (Afdeling Natuurkunde, TH-Delft):
AUTOMATISCHE HERKENNING VAN CHROMOSOMEN.

16.00 uur: Discussie en sluiting.

De lezingen worden voorafgegaan door de algemene vergadering van het NERG.

In verband met de plaatsruimte is het aantal deelnemers aan de lezingen beperkt tot 125 personen en het aantal deelnemers aan de lunch tot 100 personen.

Aanmelding voor de lezingen dient te geschieden **vóór 7 april** door middel van de aangehechte kaart, gefrankeerd met 45 cent. Reservering van de lunch vindt voor u plaats, indien vóór 7 april een bedrag van *f* 12,50 is ontvangen op girorekening 2389759 t.n.v. J. Neessen onder vermelding van „Patroonherkenning".

Deelnemers dienen deze uitnodigingskaart mee te nemen en op verzoek te tonen bij de toegang tot het gebouw.

NERG-leden, die de algemene vergadering wensen bij te wonen, dienen dit aan te geven op de aangehechte kaart. Tevens dient te worden aangegeven of men de jaarstukken wenst te ontvangen.

Namens de samenwerkende verenigingen,
IR. J. T. A. NEESSEN.
Telefoon overdag 070-755591
Telefoon 's-avonds 03480-14539

Woerden, maart 1981.

Na de lunch wordt eerst een presentatie gegeven over een torsiemotor voor zeer-lage-frictie tafel t.b.v. de beproeving van satelliet standregel systemen. Vervolgens een beschouwing over een fouten corrigerend (telemetrie) kanaalcoderingssysteem voor ESA's Giotto missie naar de komeet van Halley en tenslotte een overzicht van het Kosmoss systeem in ontwikkeling voor de verwerking van weersatellietbeelden met hoge resolutie.

Er wordt getracht een bus te organiseren van station Zwolle-NLR v.v.

OPROEP VAN DE SECRETARIS

Bij de voorbereiding van het 60-jarig jubileum van het Genootschap werd uw secretaris geconfronteerd met een hinderlijke lacune in het NERG-archief: er is nauwelijks materiaal van voor 1962 aanwezig!
Aan de hand van het Tijdschrift is het slechts gedeeltelijk mogelijk om een reconstructie te maken van bv. de vroegere bestuurssamenstellingen; een verantwoorde beschrijving van de ontwikkeling van het Genootschap kan daaruit echter niet worden verkregen.

Deze spijtige situatie is wellicht, met uw hulp, te verhelpen.

Elk jaar maakt de secretaris een verslag over het voorbije verenigingsjaar, dat op de algemene vergadering wordt behandeld.
Onder de oudere leden zullen er ongetwijfeld zijn die ergens (op zolder, tussen andere vergeelde paperassen) jaarverslagen van voor 1962 hebben liggen. Zou u eens willen kijken en mij hierover schrijven of bellen? (Niets opsturen). Het heeft natuurlijk, na al die jaren, geen haast, maar van uitstel kan afstel komen.
Bij voorbaat mijn dank.

G.A. van der Spek, Hermelijnvlinder 24, 2317 KC Leiden.
Telefoon overdag: 070 - 264221.

LEDENMUTATIES

Voorgestelde leden

Ir.E.J.Berkhoff,De Huikert 14, Gerwen.
Ir.P.W. de Leede, Vos de Waelstraat 22, Westervoort.
Ir.R.Slagter, Lumeystraat 21, Rotterdam.

Nieuwe leden

Ir.G.J.A.Arink, Puttendijk 12, Maarheeze.
G.de Bruin, Hyacinthstraat 13, Voorschoten.
Ir.P.A.Hargitai, Ridderzaal 64, Eindhoven.
Ir.P.J.V.Sugondo, Maalakker 66, Eindhoven.
Ir.V.J.M.Vermeulen, Antheunisstraat 231, 's-Gravenhage.

Nieuwe adressen van leden

Ir.J. van Cappellen, Pr. Hendrikweg 34, Noordwijk.
Ir.G.B.Deelman, Broekmolenweg 14, Rijswijk.
Ir.A. de Kooter, Marathonlaan 34, Gouda.
Ir.G.Radstake, Walkartweg 11, Zeist.
Dr.ir.H.Tolner, de Genestetlaan 11, Eindhoven.

SECTIE TELECOMMUNICATIETECHNIEK, KIvI
NEDERLANDS ELEKTRONICA- EN RADIOGENOOTSCHAP
(297ste werkvergadering)
IEEE BENELUX SECTIE

UITNODIGING

voor de lezingendag op **dinsdag 12 mei 1981** in het **Dr. Neher Laboratorium der PTT, St. Paulusstraat 4** te **Leidschendam.**
Thema: DIGITALE TRANSMISSIE

PROGRAMMA

10.00 uur: Ontvangst en koffie.

10.30 uur: **IR. A. M. GIACOMETTI**, (Philips' Telecommunicatie Industrie, Huizen):
MODERNE DIGITALE TRANSMISSIE OVER KOPERKABELS.

11.15 uur: Koffiepauze.

11.45 uur: **IR. J. DRUPSTEEN**, (Philips' Telecommunicatie Industrie, Huizen):
PCM- EN DIGITALE MULTIPLEXSYSTEMEN.

12.30 uur: Lunch.

13.45 uur: **IR. J. NOORDANUS**, (Philips' Telecommunicatie Industrie, Huizen):
DIGITALE TRANSMISSIE VIA STRAALVERBINDINGEN MET EEN BIT-SNELHEID VAN 34 EN 140 MBIT/S.

14.30 uur: **IR. H. B. GROEN**, (Dr. Neher Laboratorium PTT, Leidschendam):
GLASVEZEL-TRANSMISSIE IN HET ABONNEENET.

15.15 uur: Sluiting.

Toelichting.
De huidige snelle lijntransmissiesystemen zijn ondenkbaar zonder moderne rekenmiddelen en realisatietechnieken.
Na een korte opsomming van de belangrijkste technische problemen wordt e.e.a. toegelicht aan de hand van enige voorbeelden uit de huidige industriële productie.
In de tweede lezing wordt een 30-kanaal PCM systeem voor telefonie beschreven dat is uitgerust met geïntegreerde circuits voor codering en decodering van spraak. Tevens zal aandacht besteed worden aan de opzet van hogere orde multiplexsystemen voor digitale transmissie.
In de lezing over digitale transmissie via straalverbindingen wordt een overzicht gegeven van de gebruikte frequentiebanden met hun specifieke transmissie eigenschappen, de verschillende digitale modulatiemethoden, en de bewakingsfilosofie.
Tenslotte worden aan de orde gesteld de toepassingsmogelijkheden en -moeilijkheden van glasvezel als transmissiemiddel tussen abonnée en centrale.

Bijzonderheden.
Aanmelding dient te geschieden vóór 5 mei door middel van de aangehechte kaart, gefrankeerd met een postzegel van 45 cent.
Reservering van de lunch vindt voor u plaats, indien vóór 5 mei een bedrag van *f* 9,— is ontvangen op girorekening 576595, t.n.v. penningmeester Sectie voor Telecommunicatietechniek, Oosterhout, onder vermelding van "Digitale Transmissie". Het aantal deelnemers is beperkt tot 85, in volgorde van aanmelding.

Namens de samenwerkende verenigingen,
IR. B. L. DE GOEDE.

Leidschendam, april 1981.

Conferentie aankondigingen

IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing; 3-5 mei 1982 te Parijs; Abstracts van 200 woorden vóór 15-9-1981 opsturen naar: M. Bellanger, TRT, 5 Avenue Reaumur, 92350 Le Plessis-Robinson, Frankrijk.

NTG-Fachtagung "Antennen"; 16-19 maart 1982 te Baden-Baden. Call for papers 26-9-1981; contact adres Prof.Dr.G.Ries; UNI-GH-Siegen, FB 13; Hölderlinstr.3; 5900 Siegen 21.

Eurodisplay 81; First European display research conference; 16-18 september 1981; Hilton Hotel München; contact adres: VDE-Zentralstelle Tagungen; Stresemann-allee 15; D-6000 Frankfurt am Main 70; Telefoon 0949-611-6308 202

IEE International Conference on electronic image processing; 26-28 juli 1982; University of York, UK; call for papers 28-9-1981; contact adres: Conference Department IEE; Savoy Place; London WC2R OBL; United Kingdom Telefoon 01-240 1871 ext 222

IEE International Conference on Railways in the electronic age; 17-20 november 1981; IEE Savoy Place London WC2 contact adres: IEE ; LS (C); P.O. Box 26; Hitchin; Herts SG5 1SA; United Kingdom.

NTG-Fachtagung "Rundfunk-Satellitensysteme"; 19-21 oktober 1982 in Saarbrücken; call for papers 22-2-1982 (2x A4); contact adres: Hernn Dipl.Ing. Walter Stösser; AEG-Telefunken; Gerbenstrasse 33; 7130 Backnang

Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap

Inhoud

deel 46 - nr. 4 - 1981

blz. 61 Inleiding tot de patroonherkenning, door Dr.Ir. E.Backer
blz. 69 Beeldsegmentatie als classificatieprobleem, door Ir. J.J.Gerbrands
blz. 74 Werkvergadering 295
blz. 75 Automatisering bij de chromosoomherkenning, door Dr.Ir.F.C.A.Groen
blz. 83 Maatschappij en Techniek. De Münchner Kreis, door M.Jeuken
blz. 87 Uit het NERG. Prof.Dr.Ir. J.J.Geluk erelid.
Werkvergaderingen in het najaar 1981.
blz. 88 Werkvergadering 296
blz. 89 Uit het NERG. Oproep van de secretaris. Ledenmutaties
blz. 90 Werkvergadering 297

druk: de Witte Eindhoven